উচ্চ মাধ্যমিক

পদার্থবিদ্যা

দাশশর্মা
ও
রায়

[পশ্চিমবঙ্গ উচ্চ মাধ্যমিক শিক্ষা সংসদ কর্তৃক অনুমোদিত পাঠ্যসূচী অনুযায়ী
একাদশ ও দ্বাদশ শ্রেণীর উপযোগী পাঠ্য পুস্তক]

উচ্চ-মাধ্যমিক পদার্থবিদ্যা

[প্রথম পত্র]

একাদশ ও দ্বাদশ শ্রেণী

[• বলবিজ্ঞান • সাধারণ পদার্থবিজ্ঞান • তাপবিজ্ঞান
এবং কম্পন ও তরঙ্গ]

অধ্যাপক যতীন্দ্রমোহন দাশ শর্মা এম্, এস্-সি
স্কটিশচার্চ কলেজ, কলিকাতা।
কলেজ ফিজিক্স-এর যুগ্মলেখক
(ভূতপূর্ব অধ্যাপক, বিদ্যাসাগর কলেজ, সিউড়ি, কলিকাতা, বর্দ্ধমান ও
বিশ্বভারতী বিশ্ববিদ্যালয়ের পরীক্ষক।)

ও

অধ্যাপক ভোলানাথ রায় এম্, এস্-সি
স্কটিশচার্চ কলেজ, কলিকাতা
(ভূতপূর্ব অধ্যাপক, বর্ধমান শ্যামসুন্দর কলেজ
পরীক্ষক, কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়)

মণ্ডল এণ্ড সন্স্ : পুস্তক বিক্রেতা ও প্রকাশক
১৪, বঙ্কিম চ্যাটার্জী ষ্ট্রীট, কলি-১২

প্রকাশক :
শ্রীসুধীরকুমার মণ্ডল
১৪, বঙ্কিম চ্যাটার্জী স্ট্রীট
কলিকাতা—৭০০০৭৩

প্রথম সংস্করণ : শুভ কোজাগরী লক্ষীপূজা ১৩৮৩ সাল

ছবি এঁকেছেন : প্রবীর কুমার কর্মকার বি. এস-সি

[এই বইখানি ছাপতে ভারত সরকার কম দামে কাগজ সরবরাহ করেছেন]

মূল্য—১১·০০ টাকা মাত্র

মুদ্রাকর : শ্রীদুর্গাদাস পাণ্ডা এম, এ, বি-এড্
দেবাশীষ প্রেস
৭১, কৈলাস বোস স্ট্রীট
কলিকাতা—৭০০০০৬

ভূমিকা

কেন্দ্রীয় সরকারের শিক্ষাদপ্তরের অনুসৃত পরিকল্পনা অনুসারে উচ্চ মাধ্যমিক শিক্ষাক্রম নির্দিষ্ট হওয়ার পরিণতি হিসাবে পশ্চিমবঙ্গেও দুইটি পর্ষদ আলাদা ভাবে সম্প্রতি গঠিত হয়েছে। উদ্দেশ্য প্রথমতঃ মাধ্যমিক পাঠক্রমে আরও সফলতার দিকে এগিয়ে এনে বাস্তবমুখী শিক্ষাকে রূপদান করা। দ্বিতীয়তঃ মাধ্যমিক ও কলেজের বিভিন্ন শিক্ষা ব্যবস্থার মধ্যে একটি নিবিড় যোগসূত্র স্থাপন করা। এই দৃষ্টিভঙ্গী নিয়েই পশ্চিমবঙ্গ উচ্চ মাধ্যমিক পর্ষদের বিভিন্ন বিষয়ের পাঠ্য তালিকার সৃষ্টি।

পদার্থ বিদ্যার পাঠক্রম সুচিন্তিত এবং সুব্যবস্থিত সন্দেহ নাই, কিন্তু এর সম্ভাব্য আয়তনের সঙ্গে নির্দেশিত পুস্তকের সর্বাধিক পৃষ্ঠা-সংখ্যার সমাবেশ যে গ্রন্থকারদের বিপর্যয়ে ফেলবে, এ উপলব্ধি আমাদের হয়েছে। তথাপি আমরা বক্তব্যগুলি উদাহরণ ও চিত্রদ্বারা সরলভাবে প্রকাশ করার চেষ্টা করেছি। উচ্চ মাধ্যমিকের প্রথম বর্ষে সাধারণ পদার্থ বিজ্ঞান (General Properties), তাপ বিজ্ঞান (Heat) এবং দোলন ও তরঙ্গ সম্বলিত শব্দ বিজ্ঞান (Waves and Oscillations including sound) অধ্যাপনার উদ্দেশ্যে পাঠক্রম রচিত হয়েছে মনে করেই উচ্চ মাধ্যমিক পদার্থবিদ্যার প্রথম খণ্ড প্রকাশিত হল। অতি শীঘ্রই দ্বিতীয় খণ্ডে সম্পূর্ণ-গ্রন্থখানি শিক্ষকমণ্ডলীর হাতে পৌছাইবে,—এ স্বীকৃতি আমরা দিতে পারি।

প্রকাশক ও পুস্তক বিক্রেতা মণ্ডল এণ্ড সন্স এই গ্রন্থটির প্রকাশনের দায়িত্ব নিয়ে আমাদের অনুগৃহীত করেছেন। শ্রীপ্রবীর কুমার কর্মকার যে যত্ন নিয়ে চিত্রগুলি অঙ্কন করেছেন, তাকেও আমরা সে-জন্য ধন্যবাদ জানাচ্ছি। যদি এই বইখানি পাঠ করে ছাত্র-ছাত্রীদের কিছুমাত্র জ্ঞান পিপাসা চরিতার্থ হয়, তবেই এই প্রচেষ্টাকে সার্থক মনে করব। পরিশেষে প্রথম সংস্করণে কিছু কিছু মুদ্রণ-প্রমাদ থাকাটা অস্বাভাবিক নয় বলেই পূর্বাহ্নেই মার্জনা চাইছি।

ইতি—

কোজাগরী লক্ষ্মীপূর্ণিমা
১৩৮৩ সাল

যতীন্দ্র মোহন দাশশর্মা
ভোলানাথ রায়

PHYSICS

(Elective)

Paper—I	—	80 Marks.
Paper—II	—	80 Marks.
Practical	—	40 Marks.
	Total	200 Marks.

1. MECHANICS

Particle Dynamics :

Rest and Motion, Reference frame, Displacement, Velocity and Acceleration, Momentum, Kinematical equations (in one dimension). Elementary problems.

Scalars and Vectors. Composition and Resolution of vectors. Representation of vector by Co-ordinates. Addition of vectors by Geometrical and Analytical methods. Relative velocity and acceleration.

Newton's laws of motion. Inertia, Units of force, Impulse and Impulsive forces, Conservation of linear momentum—elastic collisions of particles moving in the same line, Jets and Rockets. Friction, Static and kinetic friction, co-efficient of friction.

Statics :

Centre of mass, centre of gravity. Conditions of equilibrium of a system of particles.

Dynamics of Circular motion :

Rotational motion of a particle. Angular velocity, Angular acceleration, Relation between angular velocity and linear velocity. Angular momentum, Moment of a force about a point and about an axis, Torque, Relation between angular momentum and torque (statement only), Couples, Centripetal force, Centrifugal force (as a pseudo-force).

Work Energy and Power :

Definition of work, Relevant units, Work done by and against a force. Mechanical energy—Kinetic and Potential forms. Conservation of

energy—with the case of a freely falling body as an example. Power—definition, units.

2. GENERAL PROPERTIES OF MATTER

Gravitation :

Newton's law of Universal Gravitation. Constant of Gravitation (no experimental details on the determination of the Gravitational Constant). Gravitational attraction for extended bodies. Gravitational attraction of the earth. Laws of falling bodies. Variation of acceleration due to Gravity. Simple Pendulum. Motion of planets. Satellites. Escape velocity (no deduction). Weightlessness in orbiting satellites.

Elastic Properties of Matter :

Stress, Strain, Elastic limit. Hooke's law, elastic moduli Young's modulus, Bulk modulus, Rigidity modulus, Poisson's ratio.

Hydrostatics :

Density, Specific Gravity, (Methods of determination of Sp. Gr. not required). Archimedes' principle (demonstrations). flotation, Pressure in fluids, Transmission of fluid pressure ; Pascal's law and its applications. Air pressure and its measurement. Siphon, principles of lift pump. compression pump. Vacuum pump.

Surface Tension and Viscosity :

Simple surface tension phenomena (illustrated with demonstrations). Motion in fluids—viscosity—streamline and turbulent flow (qualitative ideas).

3. HEAT

Recapitulation of the basic concepts of heat and temperature.

Thermal expansions of solids and liquids. Simple demonstrations. Co-efficient of expansion for Solids ; Relation between them. Applications of expansions of solids.

Real and Apparent expansions for liquids, Relation between expansion co-efficients. Anomalous expansion of water. Effect on marine life.

Thermal expansion of Gases.

Boyle's law, Charle's law, Equation of State of an ideal gas : volume and pressure co-efficient, Absolute Scale of Temperature.

Calorimetry :

Preliminary definitions, Principle of calorimetry (no questions on measurement to be set). Calorimetric problems.

Change of State :

Latent Heat (brief discussions of determination), Evaporation and Boiling. Effects of Pressure on Melting point and Boiling point.

Vapour pressure, Relative humility, Dew, Fog and Cloud ; Hygrometry. Regnault's hygrometer.

Mechanical Equivalent of Heat :

Heat as a form of energy. Relation between the Calorie and the Erg. Determination of Mechanical Equivalent of heat (paddle method). First law of Thermodynamics. Isothermal and Adiabatic expansions of Gases. Specific heats of Gases ; Definitions of Cp., Cv.

Kinetic Theory of Gases :

Evidence of Molecular structure of Matter and of random molecular motion. Brownian movement (qualitative description). Basic assumptions of the Kinetic theory of Ideal gases. Pressure of an Ideal gas (mention of the formula ; derivation not required). Concept of temperature from Kinetic theory. Qualitative discussions of limitations of ideal gas laws.

Transmission of Heat :

Conduction of heat, Simple demonstrations ; Thermal conductivity. Practical applications of thermal conduction. Convection of heat, Convection current. Radiation ; Radiation as a form of energy ; Stefan's law—statement and applications.

4. OPTICS

Recapitulation of basic topics on Rectilinear propagation of Light.

Photometry—basic concepts. Lummer Brodhun Photometer.

Reflection at Plane surfaces—Laws of Reflection, Periscope. Reflection at Curved surfaces—basic definitions and mathematical relations between u. v. f and r.

Refraction of Light, Laws of refraction, Total reflection, Critical angle, Formation of a mirage. Refraction through a Prism. Minimum deviation, Relation between Delta and Mu.

Image formation by thin Convex and Concave lenses ; Basic definitions. Deduction of formula connecting u, v. f. Spherical and Chromatic Aberrations (qualitative discussions).

Dispersian of Light. Formation of a Spectrum, Different types of Spectra (line and continuous), Emission and Abosrption spectra—discussions on a very elementary level. Spectrometer (principle of working).

Atmospheric refraction and Rainbow.

Optical Instruments : Camera, Compound Microscope. Astronomical Telescope, Binoculars.

The Human eye—Defects of vision—remedy as example of combination of lenses.

5. VIBRATIONS AND WAVES

Vibrations :

Oscillations and its characteristics. Simple Harmonic Motion, examples. Relation with uniform Circular motion, Graphical and Mathematical representations, Energy in Simple Harmonic Motion. Superposition of two simple harmonic motions in the same direction (graphical) (i) in phase, (ii) in opposite phases.

Nature of Vibrations—(transverse and longitudinal). Free and Forced vibrations Resonance, Damped oscillations (qualitative discussions with examples).

Waves :

Types of waves, Characteristic features of Propagating waves, Preliminary definitions, and relations. Reflection and Refraction of Waves.

Superposition of Waves ; Stationary waves ; Vibrations of Strings and Air columns.

Interference, Beats, Doppler effect, Polarization (qualitative discussions).

Nature of Waves :

(i) Sound Waves as elastic waves. Velocity of Sound ; Laplace's formula (Newton's formula $V = \sqrt{E/\rho}$ to be as sumed).

Sources of Sound. Musical Sound and Noise. Principles of Recording and Reproduction of sound.

(ii) Light as a Wave phenomenon. Finite Velocity of Light. Interference of light. Polarization (qualitative ideas). Validity of geometrical optics as an approximation.

6. MAGNETISM

Recapitulation of basic concepts with demonstrations.

Magnetic field, Magnetic lines of force, Coulomb's law, Unit pole, Magnetic intensity.

Molecular Theory of magnetism. Ferro, Para and Diamagnetic substances. Permeability, Susceptibility.

Terrestrial Magnetism—Declination, Dip and Horizontal intensity (methods of measurement not required.)

7, ELECTROSTATICS

Basic Electrostatic phenomena, Electroscopes—simple experiment. Conductors and Insulators. Electrostatic induction. Distribution of Charge on conductors. Surface charge density.

Coulomb's law of Electrostatics. Electric field. Potential and its measure ; qualitative ideas of relation between intensity and potential. Capacitance, capacitance of a sphere. Simple capacitors. Factors determining capacitance. Capacitors in series and in parallel.

Electrostatic machines—electrophorus and Van de Graafff generator.

8. CURRENT ELECTRICITY

Voltaic Cells, Primary and Secondary Cells. Ohm's Law. Resistivity. Temperature co-efficient of Resistance. Resistances in series and parallel. Wheatstone Bridge (measurement of resistances of resistors with this bridge). Post Office Box. Metre Bridge. Potentiometer—measurement of Potential Difference and Current.

Heating effect of Current—Joule's law. Determination of 'J' by electrical method. Thermo-electricity. Seebeck, Peltier and Thomson's effects (general outline). Energy and Power in electrical circuits.

Chemical effect of current—Electrolysis—Faraday's laws. Practical applications.

Electromagnetism :

Magnetic effect of current—action of magnet on curreut, current on magnet and current on current. Demonstrations. Simple Galvanometers (Tangent, d'Arsonval). Shunt, Voltmeters, Ammeters and their uses.

Electromagnetic Induction ; Laws of Faraday and Lens ; Self and Mutual inductance. Induction Coil.

Ideas about alternating (qualitative discussions). Principles of Motors and Dynamos. Principles of Telegraphy, Telephone and Microphone.

9. MODERN PHYSICS

Conduction of Electricity through gases—phenomenological study. Cathode rays and their properties. X-rays ; discovery and properties. Nature of X-rays. Practical applications.

Thermonic emission—descriptive.

Vacum tubes, diodes—principle of rectification, uses, Triodes—Principle of Amplification. Cathode ray Tube. Elementary principles of Radio, Television and Radar.

Photo electric phenomena. Photo tube and its uses, Particle nature of radiation. Elementary ideas of Quantum Theory. (No details on the determination of Planck's constant),

Electronic structure of the atom—brief introduction to the Bhor model of the Atom. Fluorescence and phosphorescence ; Semi-conductor Diodes and Triodes, Transistors and their uses (descriptive).

Measurement of Atomic masses—brief discussion of the principle of the Mass Spectrograph (single focussing).

The nucleus of the atom and its structure. Atomic number and mass number, isotopes.

Radioactivity—its discovery. Alpha, Beta and Gamma Rays and their properties. Radioactive decay (no mathematics—graphical illustrations only). Radio Isotopes. Artificial transmutation of elements—with illustrations. Mention of mass energy equivalence. Nuclear fission and its uses. Nuclear fusion—its importance ; Cosmic rays and Mesons.

সূচীপত্র

প্রথম পরিচ্ছেদ

বিভিন্ন প্রকার একক ও পরিমাপ পদ্ধতি

1.1. পদার্থবিদ্যা :—তোমরা মাধ্যমিক পদার্থবিদ্যার পাঠক্রমের গোড়াতেই পড়িয়াছ যে এই বিজ্ঞানের মূল উদ্দেশ্য, আমাদের চতুর্দিকে বিস্তৃত যে সব পদার্থ রহিয়াছে এবং আমরা যে সব শক্তির সন্ধান পাইয়াছি, তাহাদের মধ্যে পারস্পরিক ক্রিয়ার পরিণতি কী, ইহার পরীক্ষা-নিরীক্ষা করা। যদিও পদার্থ, বস্তু এবং শক্তির সম্বন্ধে তোমাদের একটা মোটামুটি ধারণা হইয়াছে, তথাপি এই বিষয়গুলির গুরুত্ব বোধে সংজ্ঞাগুলি নিম্নে দেওয়া হইল।

পদার্থ (Matter) :—যাহা কিছু আমরা চক্ষু, কর্ণ, নাসিকা, জিহ্বা ও ত্বক্ প্রভৃতি ইন্দ্রিয়ের দ্বারা একক বা যৌথভাবে অনুভব করিতে পারি, তাহাকেই আমরা পদার্থ বলি। মাটি, জল, বায়ু ইত্যাদি—ইহারা প্রত্যেকেই এক একটি পদার্থ। মনে রাখিও যে কোন পদার্থের দুইটি প্রাকৃতিক ধর্ম থাকিতে হইবে ; (1) তাহার কিছু স্থান (space) দখল করিয়া থাকা চাই এবং (2) তাহার কিছু ভর (mass) থাকা চাই। এক কথায়, তাহার ঘনত্ব (density) কিছু থাকিতেই হইবে।

শক্তি (Energy) :—যাহা দ্বারা পদার্থের কোন পরিবর্তন সংঘটিত করা যায়, তাহাকেই শক্তি বলা হয়। এই পরিবর্তন পদার্থের বাহ্যিক বা আভ্যন্তরিক বা একসঙ্গে দুইটিরই সংঘটন হইতে পারে। যেমন, একটি বলকে (ball) ছুঁড়িয়া দিলে সেটি গতিসম্পন্ন হইয়া শক্তির প্রকাশ করে। এ স্থলে শক্তির বাহ্যিক প্রকাশ হইল। একখণ্ড লৌহকে উনুনের উপর ধরিলে উত্তপ্ত হয়। এখানে তাপশক্তি লৌহখণ্ডের আভ্যন্তরিক শক্তির প্রকাশ করিতেছে।

এই পৃথিবীতে প্রাকৃতিক অবস্থায় বহু প্রকার পদার্থ রহিয়াছে। গবেষণাগারেও কৃত্রিম উপায়ে অসংখ্য পদার্থ তৈয়ারী হইয়াছে। **সীমিত, পরিমাপযোগ্য ও আকৃতি বিশিষ্ট কোন পদার্থকে বস্তু (Body) বলা হয়।** তদর্থে কোন বস্তুর উপাদানকে পদার্থ বলা যায়। যেমন—কাঠ একটি পদার্থ ; কিন্তু সেই কাঠ হইতে বিশেষ বিশেষ আকৃতি বিশিষ্ট চেয়ার, টেবিল, বেঞ্চি প্রভৃতি এক একটি বস্তু। আবার কাঁচ একটি কৃত্রিম পদার্থ, কিন্তু ঐ পদার্থ হইতে নির্মিত আয়না, লেন্স, বোতল, ফ্লাস্ক, ইত্যাদি এক একটি বস্তু। মনে রাখিবে, কোন পদার্থ দ্বারা তৈয়ারী করা দ্রব্যকে বস্তু বলা হয়। পদার্থবিদ্যার পরীক্ষাগারে আমরা বস্তু লইয়াই পরীক্ষা নিরীক্ষা করি।

বস্তু এবং শক্তি সম্বন্ধে গবেষণা করিয়া বহু অজ্ঞাত তথ্যের সন্ধান মিলিয়াছে। **এই তথ্যের সন্ধান পাওয়াকেই আবিষ্কার বলে।** স্মরণাতীত কাল হইতে এখন পর্যন্ত বহু তথ্য আবিষ্কৃত হওয়ায় আমাদের জ্ঞানের পরিধি ক্রমশই বাড়িতেছে।

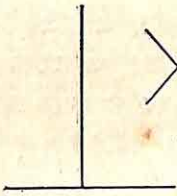
আশ্চর্যের ব্যাপার এই যে, বিজ্ঞান যতই বিস্তৃতি লাভ করিতেছে, গবেষণার ক্ষেত্রও অনুরূপ ভাবে বাড়িয়া চলিয়াছে। এক শত বৎসর পূর্বের মানুষ কল্পনাই করিতে পারিত না যে আকাশপথে যাত্রীবাহী যান চলিতে পারে, পৃথিবীর একপ্রান্ত হইতে অপরপ্রান্তে বেতার সংবাদ মূহূর্তের মধ্যেই পৌঁছাইতে পারে, টেলিভিশন যন্ত্রে বক্তার ছবি সুন্দরভাবে পরিস্ফুট হইতে পারে, মানুষের তৈয়ারী কৃত্রিম উপগ্রহ পৃথিবীর চতুর্দিকে কক্ষপথে ঘুরিতে পারে, মানববিহীন রকেট মেরিনার সবুজ পৃথিবী হইতে প্রক্ষিপ্ত হইয়া সুনির্দিষ্ট পথে শুক্রগ্রহে ও মঙ্গলগ্রহে পৌঁছাইয়া বেতার মারফৎ গ্রহদ্বয়ের ছবি ও আবহমণ্ডলের বিবরণ পাঠাইতে পারে। বিংশ শতকে বিজ্ঞানীদের অক্লান্ত গবেষণার ফলে বিজ্ঞানের এই কল্পনাতীত অগ্রগতি সম্ভবপর হইয়াছে।

1.2. যান্ত্রিক পরিমাপের প্রয়োজনীয়তা :—আমরা চক্ষু-কর্ণ প্রভৃতি ইন্দ্রিয় দ্বারা বস্তু-বাস্তবের কোন না কোন ধর্ম মোটামুটি ভাবে বুঝিতে পারি। যেমন কোন বস্তু তরল অথবা কঠিন তাহা দেখিয়াই চেনা যায়। আবার দুইটি কঠিন বস্তু যেমন—একখণ্ড পাথর ও এক টুকরা রবার আঙুল দিয়া টিপিয়া বলিতে পারি কোন বস্তুটি বেশী শক্ত। দেখিয়াই বলা যায় যে একটি ফুটবল ক্রিকেট বল হইতে বড়। দুইটি পাত্রের একটিতে গরম জল ও অন্যটিতে ঠাণ্ডা জল থাকিলে, উহাদের মধ্যে আঙুল ছোঁয়াইয়াই বলিতে পারি, কোনটি অপেক্ষাকৃত গরম। একটি ধানীপটকা ও একটি বোমা ফাটাইলে সহজেই বলিতে পারি কোনটির আওয়াজ বেশী। একটি হারিকেনের আলোর তুলনায় একটি ইলেকট্রিক বাল্বের আলো যে অনেক উজ্জ্বল তাহা সকলেই বলিতে পারে। এই সব উপলব্ধি আমাদের ইন্দ্রিয়ের দ্বারাই হইয়া থাকে। কিন্তু বাস্তব ধর্ম সম্বন্ধে আমাদের ইন্দ্রিয়ের অনুভূতি মোটামুটি আপেক্ষিক এবং ইহা সঠিক পরিমাপ-যোগ্যও নয়।

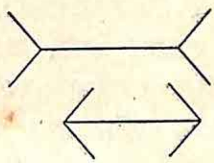
কোন কোন বিষয়ে ইন্দ্রিয়ের অনুভূতি আমাদিগকে ভুল খবরও দেয়। খালি চোখে চন্দ্র, সূর্য, গ্রহপুঞ্জ ও তারকাগুলিকে যেন একটি অর্ধগোলাকার চাঁদোয়ার উপর হইতে আলো দিতে দেখা যায় এবং তাহারা যেন সকলেই পৃথিবী হইতে সমদূরে অবস্থিত মনে হয়। কিন্তু যান্ত্রিক পরিমাপে দেখা গিয়াছে এই সব মহাকাশ পথযাত্রীদের দূরত্ব-সীমা কয়েক লক্ষ মাইল হইতে কোটি কোটি মাইল পর্যন্ত বিস্তৃত। সাধারণ ভাবে চন্দ্র এবং সূর্যের আয়তন সমানই মনে হয়, যেহেতু পূর্ণগ্রাস সূর্যগ্রহণে চন্দ্র সূর্যকে সম্পূর্ণ ঢাকিয়া ফেলে। কিন্তু বিজ্ঞানীরা পরীক্ষাগারে প্রমাণ করিয়াছেন যে, সূর্য চন্দ্র হইতে কয়েক হাজার গুণ বড়। ইহারা ত দূরের বস্তু, চোখের ভুল হওয়া অস্বাভাবিক নয়। কিন্তু এই পৃথিবীর বস্তু-বাস্তবের ভৌতিক ধর্মের অনুভূতি কি আমাদের কখনও কখনও ভুল বোঝায় না? যাহারা পাহাড়ে যায়গায় বেড়াইতে গিয়াছেন, তাহারা আপাতদৃষ্টিতে নিকটে অবস্থিত একটি পর্বত শ্রেণীর সৌন্দর্যে আকৃষ্ট হইয়া হয়ত মনে করিয়াছেন যে এই দূরত্ব আর কতটুকু,—ঘণ্টাখানেকের মধ্যেই পৌঁছান যাইবে। কিন্তু এই দৃষ্টির অনুভূতি তাহাদের এমনই ঠকাইল যে, দুই ঘণ্টা হাঁটিয়াও পর্বতশ্রেণীকে ঠিক

ততদূরেই যেন আবার সরাইয়া নিল। সমুদ্রে যাঁহারা সূর্যোদয় বা সূর্যাস্ত দেখিয়াছেন তাঁহাদের মনে হইয়াছে যেন সমুদ্রের জলের তলা হইতে জল রাঙ্গাইয়া সূর্য উঠিতেছে বা জলের তলায় আস্তে আস্তে ডুবিয়া যাইতেছে। তাহা হইলে বুঝিতে পারা যায় যে পার্থিব বস্তুর ধর্ম সম্বন্ধেও আমাদের ইন্দ্রিয় সঠিক খবর দেয় না।

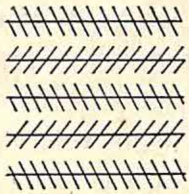
উপরোক্ত দৃষ্টান্তগুলি বৃহৎ বস্তুর ব্যাপার; সুতরাং মনে করা যাইতে পারে যে, আমাদের ইন্দ্রিয়ের গ্রহণ ক্ষমতা সীমাবদ্ধ বলিয়াই ঐ বৃহৎ ঘটনাগুলির ঠিক ঠিক অভিজ্ঞতা আমরা পাই না। কিন্তু অতি নিকটের জিনিস সম্পর্কেও আমাদের অনুমান ভুল হয়। নিম্নে চারটি চিত্রের দিকে নজর দাও।


A

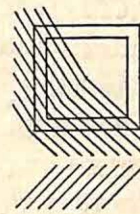
চিত্র নং 1


B

চিত্র নং 2


C

চিত্র নং 3


D

চিত্র নং 4

1 নং চিত্রে একটি অনুভূমিক সরলরেখার উপর একটি সরলরেখা লম্বভাবে রহিয়াছে। উল্লম্ব রেখাটি অনুভূমিক রেখা হইতে লম্বায় একটু বড় মনে হইতেছে কি? মাপিয়া দেখ তাহারা উভয়েই সমান লম্বা। 2 নং চিত্রে তীর চিহ্নযুক্ত দুইটি অনুভূমিক সরলরেখা দেখানো হইয়াছে। উহাদের বেশ ছোট বড় মনে হইতেছে কি? মাপিয়া দেখ, উহারা দৈর্ঘ্যে সমান। 3 নং চিত্রে কতকগুলি অনুভূমিক রেখা ছোট ছোট রেখা দ্বারা ভাগ করা রহিয়াছে। অনুভূমিক রেখাগুলি যেন সমান্তরাল মনে হইতেছে না। মাপিয়া দেখ উহারা সমান্তরাল। 4 নং চিত্রে একটি চতুর্ভুজ দেখিতেছ, যাহার একদিকে কতগুলি লাইন টানা আছে। আপাতদৃষ্টিতে লাইন ঘেরা কোণটি যেন কিছুটা সূক্ষ্মকোণের মত দেখা যাইতেছে। মাপিলে দেখিবে এটি একটি সমকোণ। এমন আরও অনেক দৃষ্টান্ত আছে, যদ্বারা **ইহা সুস্পষ্ট প্রমাণিত হয় যে, আমাদের ইন্দ্রিয়ের স্বাধীন অনুভূতি অনেক ক্ষেত্রেই বস্তু বা বাস্তবের পরিমাপে একটা স্থূল ধারণা জন্মায় আবার কোন কোন ক্ষেত্রে ভুল ধারণাও দিতে পারে। সুতরাং আমাদের ইন্দ্রিয়ের সঠিক অভিজ্ঞতা সঞ্চয়ের জন্য পরীক্ষাগারে বিভিন্ন প্রকার যন্ত্রের প্রয়োজন।**

1.3 **পরিমাপের বিভিন্ন পদ্ধতির একক**:—প্রত্যেকটি প্রাকৃতিক ঘটনার পিছনে একটি কারণ রহিয়াছে, এই মূলমন্ত্রটি লইয়া বিজ্ঞানের জয়যাত্রা আরম্ভ। **এই কারণটিকেই আমরা প্রাকৃতিক নিয়ম বলি।** এই নিয়মের অনুসন্ধানের প্রচেষ্টাকে আমরা পরীক্ষা-নিরীক্ষা বলি। পৃথিবীতে বহুপ্রকার জড় পদার্থ দেখিতে

পাই, যাহারা এখানে সেখানে বিচ্ছিন্নভাবে পড়িয়া রহিয়াছে। যে কোন বস্তু সম্বন্ধে নিরীক্ষা করিতে গেলে প্রথমতঃ তিনটি জিজ্ঞাসা মনে ওঠাই স্বাভাবিক। (i) বস্তুটি কোথায় অবস্থিত এবং কত বড়? এই প্রশ্নের মিমাংসা করিতে গেলে যে প্রকার পরিমাপ করিতে হয়, তাহার এককটিকে বলা হয় **দৈর্ঘ্যের একক**। (ii) বস্তুটির মধ্যে কতটা পদার্থ আছে। ইহার পরিমাপ করিতে গেলে যে এককটির ব্যবহার করা হয়, তাহাকে বলা হয় **ভরের একক**। (iii) বস্তুটি কতকাল এখানে আছে বা কতক্ষণ পূর্বে এখানে আনা হইল? এই প্রশ্নের সমাধানে যে পরিমাপক একক ব্যবহৃত হয়, তাহাকে বলা হয় **সময়ের একক**। **এই তিনটি একক স্বাধীন এবং পরস্পরের উপর নির্ভরশীল নয় বলিয়াই ইহাদিগকে মৌলিক একক (Fundamental Unit)** বলা হয়। একটি সহজ উদাহরণে এই এককগুলির সম্পর্ক-বিহীনতা বুঝিতে পারিবে। কোন মানুষের দৈর্ঘ্য, ভর ও বয়সের মধ্যে কোন সম্পর্ক নাই। অর্থাৎ সমদৈর্ঘ্যের দুইটি লোক মোটা-সরু বা বয়সে ছোট-বড় হইতে পারে। আবার সমান ভরের (ওজনের) দুইটি লোক বেঁটে-লম্বা বা বয়সে ছোট-বড় হইতে পারে ইত্যাদি।

রাশি—পরীক্ষাগারে কোন পরিমাপ করিতে হইলে, প্রথমত আমরা একটি সুনির্দিষ্ট একক বাছিয়া লই এবং ঐ পরিমাপে এককটি কতবার আছে তাহার গণনা করি। এই যে কতবার এককটি রহিয়াছে তাহা একটি সংখ্যাবাচক হইবে এবং এককটির একটি নাম থাকিবে। সুতরাং পরিমাপের ফল হইবে **একটি সংখ্যা এবং একটি এককের গুণফল, যাহাকে আমরা একটি রাশি বলি।** যদি বলা হয় একটি রাশি 15 মিটার, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে ঐ রাশিটি 15 সংখ্যা × 1 মিটার।

লব্ধ একক—বৈজ্ঞানিক পরিমাপের জন্য শত শত রাশির উদ্ভব হইয়াছে। কিন্তু এই সমস্ত রাশিগুলি উপরোক্ত মৌলিক তিনটি এককের দ্বারা সংযুক্তি করিয়া পাওয়া গিয়াছে। সুতরাং **যে সমস্ত রাশির একক তিনটি মৌলিক একক হইতে পৃথক বা সংযুক্ত ভাবে পাওয়া যায়, তাহাদের লব্ধ একক বলে।** যেমন একটি বর্গক্ষেত্রের একক পাইতে হইলে দুইটি দৈর্ঘ্যের এককের গুণফল হইবে।

1.4. **স্কেলার রাশি (Scalar Quantity) এবং ভেক্টর রাশি (Vector Quantity)** ঃ—রাশির সংজ্ঞা পূর্ব অনুচ্ছেদেই পাইয়াছ এবং এ কথাও বলা হইয়াছে যে, পদার্থবিদ্যা, রসায়ন, জীববিজ্ঞান প্রভৃতিতে বহু প্রকার রাশির সমাবেশ হইয়াছে। ইহাদের মধ্যে **কতকগুলি রাশি পাওয়া যায়, যাহাদের শুধু মান আছে কিন্তু দিক-নির্দেশ বলিয়া কিছু নাই। এই সব রাশিকে স্কেলার রাশি বলে।** যেমন—কোন জিনিসের দৈর্ঘ্য, ভর, আয়তন, আপেক্ষিক গুরুত্ব ইত্যাদি। সময়ও একটি স্কেলার রাশি। এই সব রাশির প্রশ্ন উঠিলে কোন দিকে ভর বা আয়তন অথবা কোন দিকে সময়, ইহার অর্থ হয় না। কিন্তু **যে রাশির মান ও দিক-নির্দেশ দুইই আছে, তাহাকে ভেক্টর রাশি বলে।** যেমন, বল

(force), বেগ (velocity), ত্বরণ (acceleration) ইত্যাদি। একটি বস্তুর উপর একটি বল প্রযুক্ত হইয়াছে ; এইখানে কতটা বল (মান) ও কোনদিকে বল (দিক -নির্দেশ) কাজ করিতেছে, তাহা জানা দরকার।

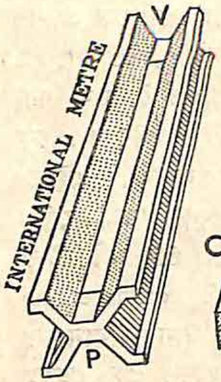
স্কেলার এবং ভেক্টর রাশির প্রতীকঃ—কোন স্কেলার রাশিকে প্রকাশ করিতে হইলে তাহার মান ও এককই যথেষ্ট। যেমন 50 সেন্টিমিটার, 25 সেকেণ্ড ইত্যাদি। একটি সরল রেখা AB **যে কোন দিকে** আঁকিয়া, তাহার দৈর্ঘ্য মাপিয়া বলা হইল AB=50 centimetres (সে. মি.)। কিন্তু একটি ভেক্টর রাশিকে প্রকাশ করিতে হইলে তাহার মান ও দিক দুইটিকেই দেখাইতে হইবে। এইজন্য সাধারণতঃ ভেক্টর রাশির মানের উপরে **একটি তীরচিহ্ন দিয়া দিক-নির্দেশ দেখান হয়।** যেমন একটি বস্তু **একই দিকে** সমবেগে 5 সেকেণ্ডে 60 সেন্টিমিটার অতিক্রম করিল। সুতরাং প্রতি সেকেণ্ডে তাহার গতিবেগ 12 centimetres. এই স্থলে **গতিবেগের দিকে** 12 cm. দৈর্ঘ্য একটি সরল রেখা টান। মনে কর এই সরল রেখাটির প্রথম প্রান্ত C এবং শেষ প্রান্ত D ; তাহা হইলে এই ভেক্টর রাশিটি $\overrightarrow{CD}=12$ cm. per second, এই ভাবে প্রকাশ করিতে হইবে। দ্বিমাত্রিক অথবা ত্রিমাত্রিক নির্দেশ তন্ত্রে (Cartesian Co-ordinate System) কখনও কখনও স্কেলার রাশিকে সাধারণ হরফে (type) এবং ভেক্টক রাশিকে মোটা হরফে (Clarendon type। প্রকাশ করা হয়।

1.5. মৌলিক এককের বিভিন্ন পদ্ধতি (Systems of Fundamental Units)—উনবিংশ শতকের মাঝামাঝি পর্যন্ত বিভিন্ন দেশে দৈর্ঘ্য, ভর ও সময়ের ভিন্ন ভিন্ন একক ব্যবহৃত হইত। আমাদের বাংলা দেশে শুভঙ্করীর কড়াকিয়া, বুড়িকিয়া প্রভৃতি এখনও হয়ত বৃদ্ধদের কিছু কিছু মনে আছে। এমন কি আমাদের ভারতবর্ষের বিভিন্ন প্রদেশেও দৈর্ঘ্য, বর্গক্ষেত্র ও ভরের মাপ এক এক রকম ছিল। এই রকমের এককের বহুলতার জন্য আন্তর্দেশীয় ব্যবসা-বাণিজ্য ও অর্থ নৈতিক আদান-প্রদানের বড়ই অসুবিধা হইত। অন্যদিকে এ-দেশে তখন ইংরাজ শাসন এবং ইউরোপীয় সমাজের রীতি-নীতির আবির্ভাব। সে কারণ এখানকার বিজ্ঞান-পাঠক্রমে ইউরোপ মহাদেশের নিম্ন-বর্ণিত দুইটি একক পদ্ধতির প্রচলন হইল।

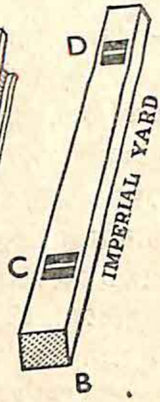
(1) **সি. জি. এস. (C. G. S.) পদ্ধতি**—ইহাতে **সেণ্টিমিটার, গ্রাম ও সেকেণ্ড** যথাক্রমে দৈর্ঘ্য, ভর ও সময়ের তিনটি প্রাথমিক একক। এই পদ্ধতি ফরাসী দেশে অষ্টাদশ শতকের শেষদিকে জাতীয় বিপ্লবের সময় প্রথম গৃহীত হয়। এইজন্য ইহাকে French বা Metric System-ও বলা হয়।

দৈর্ঘ্যের এককের সংজ্ঞা—ফ্রান্সের রাজধানী প্যারিস্ শহরের নিকটবর্তী সেভ্রে নামক শহরতলীতে একটি আন্তর্জাতিক ওজন ও পরিমাপ কার্যালয় (International Bureau of Weights and Measures) রহিয়াছে। সেখানে × **আকারের প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট প্ল্যাটিনাম্-ইরিডিয়াম মিশ্রিত ধাতুর একটি**

ঋজু দণ্ড সযত্নে রক্ষিত আছে (চিত্র নং 5)। 0°C তাপমাত্রায় ঐ দণ্ডটির দুইটি নির্দিষ্ট দাগের মধ্যবর্তী দৈর্ঘ্যকে এক আন্তর্জাতিক মিটার (International Metre) বলিয়া স্বীকৃত হইয়াছে। এই দণ্ডটি 1885 খৃষ্টাব্দে তৈয়ারী করা হইয়াছিল। তাপমাত্রার বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গেই একটি দণ্ডের দৈর্ঘ্য বাড়িয়া যায় বলিয়াই, নির্দিষ্ট একটি তাপমাত্রা, যথা 0°C-এ এই দণ্ডটি রাখা হয়। এই আন্তর্জাতিক মিটারের অনুকৃতি (International Prototype Metre) বিভিন্ন দেশের জাতীয় গবেষণাগারে রক্ষিত আছে। **এই অনুকৃতির মাপ লইয়াই সাধারণ মিটার স্কেলগুলি তৈয়ারী করা হয়।**



চিত্র নং 5



চিত্র নং 6

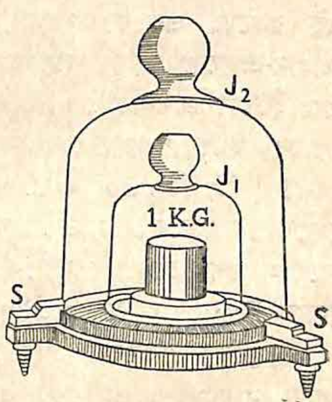
এক মিটারের শত ভাগের এক ভাগকে এক সেন্টিমিটার বলা হয় এবং **এই সেন্টিমিটারই সি. জি. এস. পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যের একক।** সেন্টিমিটারের অন্যান্য ভগ্নাংশ ও গুণিতাংশ নিম্নরূপ :—

10 মিলিমিটার (mms) = 1 সেণ্টিমিটার (cm)	10 মিটার (ms) = 1 ডেকামিটার (Dm)
10 সেণ্টিমিটার (cms) = 1 ডেসিমিটার (dm)	10 ডেকামিটার (Dms) = 1 হেক্টোমিটার (Hm)
10 ডেসিমিটার (dms) = 1 মিটার (m)	10 হেক্টোমিটার (Hms) = 1 কিলোমিটার (Km)

সুতরাং 1 কিলোমিটার = 1000 মিটার

মিটার হইতেই এই পদ্ধতির নাম **মেট্রিক পদ্ধতি (Metric System)** হইয়াছে। এই পদ্ধতির বিশেষ সুবিধা হইল যে, 10 বা উহার কোন গুণিতক দ্বারা গুণ বা ভাগ করিলেই অভীষ্ট মান পাওয়া যায়।

ভরের এককের সংজ্ঞা :—উল্লিখিত আন্তর্জাতিক কার্যালয়ে **প্ল্যাটিনাম ইরিডিয়াম মিশ্রিত একটি চোঙ্গাকৃতি ধাতুর খণ্ড রক্ষিত আছে। ঐ ধাতুখণ্ডটির ভর এক কিলোগ্রাম বলিয়া আন্তর্জাতিক স্বীকৃতি লাভ করিয়াছে।** এই ধাতুখণ্ডটিকে ধূলা বা ময়লা হইতে রক্ষা করিবার জন্য পরপর দুইটি কাচের ঢাকনি J_1 ও J_2 দ্বারা আবদ্ধ করা আছে (7 নং চিত্র)। এই ধাতুর খণ্ডটি 1889 খৃষ্টাব্দে তৈয়ারী



চিত্র নং 7

করা হইয়াছিল। **এক কিলোগ্রাম (1 Kg.) ভরের হাজার ভাগের এক ভাগকে এক গ্রাম বলা হয়।** এই আন্তর্জাতিক কিলোগ্রামের অনুকৃতিও বিভিন্ন দেশের জাতীয় গবেষণাগারে রক্ষিত আছে। ইহাদের মাপ হইতেই এক কিলোগ্রাম ওজনের বাটখারা তৈয়ারী করা হয়। **সি. জি. এস পদ্ধতিতে ভরের একক এক গ্রাম** (gram) ইহার ভগ্নাংশ ও গুণিতাংশ নিম্নরূপ :—

10 মিলিগ্রাম (mgs) = 1 সেন্টিগ্রাম (cg)	10 গ্রাম (gms) = 1 ডেকাগ্রাম (Dgm)
10 সেন্টিগ্রাম (cgs) = 1 ডেসিগ্রাম (dgm)	10 ডেকাগ্রাম (Dgms) = 1 হেক্টোগ্রাম (Hgm)
10 ডেসিগ্রাম (dgms) = 1 গ্রাম (gm)	10 হেক্টোগ্রাম (Hgms) = 1 কিলোগ্রাম (Kg)

সুতরাং 1 কিলোগ্রাম = 1000 গ্রাম। 100 কিলোগ্রাম=1 কুইণ্টাল (Quintal)

10 কুইণ্টাল বা 1000 কিলোগ্রাম=1 মেট্রিক টোন (Tonne)

সময়ের এককের সংজ্ঞা—যে কোন স্থান হইতে উত্তর এবং দক্ষিণ বিন্দুর মধ্য দিয়া একটি উলম্ব প্রসারিত তল কল্পনা করিলে, অর্ধগোলাকার আকাশে ঐ তলটির ছেদ একটি বৃহৎ অর্ধবৃত্ত রচনা করে। এই অর্ধবৃত্তটিই ভূমণ্ডলের সেই স্থানের মধ্য রেখা (meridian)। সেক্‌স্ট্যাণ্ট (sextant) অথবা কোন মানমন্দিরের দূরবীণের (telescope) দ্বারা এই মধ্যরেখাটি নির্ণয় করা যায়। প্রতিদিন সূর্য বা কোন তারা অথবা গ্রহ পূর্বাকাশ হইতে পশ্চিমে যাইবার সময় একবার করিয়া এই মধ্যরেখা অতিক্রম করে। যে কোন স্থানে ভূমণ্ডলের মধ্যরেখাকে পরপর দুইবার অতিক্রম করিতে সূর্যের যে সময়কাল লাগে, তাহাকে এক সৌরদিন (Solar Day) বলা হয়। **বৎসরের সমস্ত সৌরদিন সমান নহে। সেজন্য বৎসরের সমস্ত সৌরদিন-গুলি যোগ করিয়া তাহাকে $365\frac{1}{4}$ দ্বারা ভাগ করিলে, ভাগফলটি গড় সৌরদিন হয়। এই গড় সৌরদিনের 86,400 ভাগের এক ভাগকে এক সেকেণ্ড সংজ্ঞা দেওয়া হয়।** এই গড় সৌরদিনের গুণিতাংশ নিম্নে দেওয়া হইতেছে।

1 গড় সৌরদিন=24 ঘণ্টা ; 1 ঘণ্টা=60 মিনিট ; 1 মিনিট=60 সেকেণ্ড। আধুনিক ইলেকট্রনিক যন্ত্রে 1 second এর গুণিতাংশ ধরিতে পারা যায়। সেই সূক্ষ্ম গুণিতাংশগুলিকে মিলি-সেকেণ্ড এবং মাইক্রো-সেকেণ্ড বলে, যেমন—

1000 মিলি-সেকেণ্ড=1 সেকেণ্ড ; 1000,000 মাইক্রো-সেকেণ্ড=1 সেকেণ্ড।

(ii) **এফ্. পি. এস. পদ্ধতি** (F. P. S. System) :—উনবিংশ শতকে সাম্রাজ্যের প্রসারতায়, সমৃদ্ধি ও বিজ্ঞান সাধনায় ব্রিটেন (Great Britain) পৃথিবীর শ্রেষ্ঠ দেশ বলিয়া খ্যাতিলাভ করিয়াছিল। এই আভিজাত্যের জন্য ঐ জাতির নিজস্ব সব-কিছু থাকিবার প্রয়োজনীয়তা বোধে ব্রিটেনেও আর একটি একক-পদ্ধতির প্রচলন হইল। ইহাই **ব্রিটিশ পদ্ধতি** বলিয়া পরিচিত।

দৈর্ঘ্যের একক—অষ্টাদশ এবং উনবিংশ শতকের বিভিন্ন সময়ে দৈর্ঘ্যের একক হিসাবে ব্রিটিশ রাজকীয় গজের (British Imperial Yard) দণ্ড তৈয়ারী করা হইয়াছিল। সর্বশেষ রাজকীয় গজ তৈয়ারী হয় 1878 খৃষ্টাব্দে রাণী ভিক্টোরিয়ার আমলে। এই দৈর্ঘকেই এক গজ বলা হউক, এই প্রস্তাব ব্রিটিশ পার্লামেণ্টে পাশ করান হয়। **পার্লামেণ্টের অ্যাক্ট অনুযায়ী ইংল্যাণ্ডের বাণিজ্য বোর্ডে (Board of Trade England) 62° ফারেনহাইট তাপমাত্রায় রক্ষিত এক ঋজু ব্রোঞ্জ দণ্ডের দুই প্রান্তে খোদিত দুইটি স্বর্ণ নির্মিত বর্তুলের (plug) দাগের মধ্যবর্তী নির্দিষ্ট দূরত্বকে এক গজ বলা হয়।** (চিত্র নং 6)। এই পদ্ধতিতে সাধারণ ভাবে যে একক ব্যবহার করা হয়, তাহার নাম এক **ফুট** (foot)। দৈর্ঘ্যের এককের গুণিতক ও গুণিতাংশ নিম্নে দেওয়া হইল।

12″ inches = 1 foot (ft)
3′ feet = 1 yard (yd)
1760 yards = 1 mile

6′ feet = 1 fathom
220 yards = 1 furlong
6080 feet = 1 Knot

ভরের একক—এই ভরের (mass) এককটি 1844 খৃষ্টাব্দের পার্লামেণ্টের অ্যাক্ট অনুযায়ী পাশ হয়। **ওয়েষ্ট মিনিষ্টারের বাণিজ্য-বোর্ডের ষ্টাণ্ডার্ড অফিসে রক্ষিত একখণ্ড চোঙ্গাকৃতি প্ল্যাটিনামের ভরকে পাউণ্ড অ্যাভয়ডুপয় (Pound Avoirdupois) বলিয়া স্বীকৃত হয়।** ইহাকেই আদর্শ পাউণ্ড ভর বলা হয়। এই প্ল্যাটিনাম খণ্ডটির গায়ে P. S. 1844, 1 lb কথাগুলি অঙ্কিত আছে। এই খণ্ডটির আকৃতি ও রক্ষণপ্রণালী প্রায় 7নং চিত্রের মত। পাউণ্ডের গুণিতক ও গুণিতাংশ নিম্নরূপ,

16 ড্রাম (dr) = 1 আউন্স (oz)
16 আউন্স = 1 পাউণ্ড (lb)

28 পাউণ্ড = 1 কোয়ার্টার (qr)
4 কোয়ার্টার = 1 হন্দর (cwt)

20 হন্দর (Hundred Weights) = 1 টন (Ton) = 2240 পাউণ্ড

সময়ের একক—এই পদ্ধতিতেও সময়ের একক **এক সেকেণ্ড**। সুতরাং ইহার গুণিতক ও গুণিতাংশ সি. জি. এস পদ্ধতির মত।

সি. জি. এস. ও এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যের সামঞ্জস্য—অনেক সময় পরীক্ষাগারে এই দুইটি পদ্ধতির কোন একটি হইতে অপরটিতে পরিবর্তনের প্রয়োজন হয়। সে কারণ নিম্নলিখিত সমীকরণগুলি মনে রাখা দরকার।

1 ফুট = 30·48 সেণ্টিমিটার (cms.)
1 ইঞ্চি = 2·54 সেণ্টিমিটার (cms.)
1 মাইল = 1·609 কিলোমিটার (kms.)

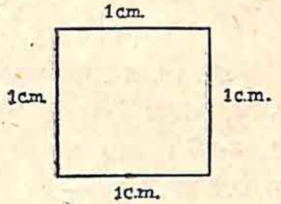
1 সেণ্টিমিটার = 0·0328 ফুট (ft.)
1 মিটার = 39·37 ইঞ্চি
1 কিলোমিটার = 0·6213 মাইল (m)

সি. জি. এস. ও এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে ভরের সামঞ্জস্য :—

1 কিলোগ্রাম = 2·2046 পাউণ্ড	1 টন = 1016·04 কিলোগ্রাম
1 মেট্রিক টোন = 2204·6 পাউণ্ড	1 আউন্স = 28·35 গ্রাম
1 মেট্রিকটোন = 0·9842 টন	1 পাউণ্ড = 453·59 গ্রাম

1·6. লব্ধ এককের বিভিন্ন পদ্ধতি (Systems of Derived Units)—লব্ধ এককের সংজ্ঞা 1·3 অনুচ্ছেদেই দেওয়া হইয়াছে। বহুপ্রকার লব্ধ একক রহিয়াছে। এই অনুচ্ছেদে শুধু ক্ষেত্রফল ও আয়তন সম্বন্ধে আলোচনা করা হইবে।

ক্ষেত্রফল—কোন সমতল অথবা বক্রতল ক্ষেত্রে কতটা স্থান বা যায়গা রহিয়াছে, তাহাকে ঐ তলের ক্ষেত্রফল বলা হয়। সি. জি. এস পদ্ধতিতে ক্ষেত্রফলের একককে 1 বর্গ-সেন্টিমিটার বলা হয়।



চিত্র নং 8

1 বর্গ-সেন্টিমিটার (sq. cm. or cm^2.) = একটি বর্গক্ষেত্র যাহার দৈর্ঘ্য 1 cm. এবং প্রস্থ 1 cm. (চিত্র নং 8)। এই একক বর্গক্ষেত্রকে বর্গ-মিটারে প্রকাশ করিতে হইলে, এইরূপে করিতে হইবে। যথা, 1 sq. cm. = 1 cm. × 1 cm. = $\frac{1}{100}$ মিটার × $\frac{1}{100}$ মিটার = 10^{-4} বর্গ-মিটার (sq. m. or m^2)।

∴ 1 বর্গমিটার = 10,000 বর্গ সেন্টিমিটার।

এফ. পি. এস পদ্ধতিতে ক্ষেত্রফলের একক 1 বর্গফুট (sq. ft. অথবা ft^2)। একটি বর্গক্ষেত্র যাহার দৈর্ঘ্য 1 ফুট এবং প্রস্থ 1 ফুট, তাহাকেই এক বর্গফুট বলা হয়। এই একক বর্গফুটকে বর্গ-গজে (sq. yd অথবা yd^2) পরিবর্তিত করিতে হইলে, এইরূপে করিতে হইবে।

$$1 \text{ sq. ft} = 1 \text{ ft.} \times 1 \text{ ft} = \tfrac{1}{3} \text{ yd} \times \tfrac{1}{3} \text{ yd} = \tfrac{1}{9} \text{ sq. yd.}$$

∴ 1 বর্গ-গজ = 9 বর্গফুট

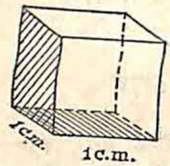
বর্গ-সেন্টিমিটার ও বর্গফুটের সহিত সম্বন্ধ—আমরা জানি যে 1 ফুট = 30·48 সেন্টিমিটার। সুতরাং, **1 sq. ft. = 1 ft. × 1 ft. = 30·48 cms. × 30·48 cms. = 929·03 sq. cm.**

উদাহরণ—ভারতের মধ্যে সর্ববৃহৎ মধ্যপ্রদেশের ক্ষেত্রফল 131636 sq. miles. এই রাশিটিকে sq. kilometer-এ প্রকাশ কর।

উত্তর :—যেহেতু 1 mile = 1·609 kilometre, সুতরাং 1 sq. mile = 1·609 × 1·609 sq. km = 2·5889 sq. km.

∴ 131636 sq. miles = 131636 × 2·5889 sq. km. = 340792·4 sq. km.

(ii) **আয়তন**—**কোন বস্তু কতটা স্থান অধিকার করিয়া রহিয়াছে, উহাই ঐ বস্তুর আয়তন।** সি. জি. এস. পদ্ধতিতে আয়তনের একক এক ঘন-সেন্টিমিটার (cubic centimetre). একটি ঘনকের দৈর্ঘ্য 1 cm., প্রস্থ 1 cm. এবং উচ্চতা 1 cm. হইলে ঐ ঘনকটির আয়তন 1 ঘন-সেন্টিমিটার (c.c. অথবা cm^3) (চিত্র নং 9)। একটি একক ঘন-সেন্টি-মিটারকে ঘন-মিটারে প্রকাশ করিতে হইলে, এইরূপে করিতে হইবে। যথা—



চিত্র নং 9

1 cubic centimetre $= 1$ cm. $\times 1$ cm. $\times 1$ cm. $= \frac{1}{100}$ m. $\times \frac{1}{100}$ m. $\times \frac{1}{100}$ m. $= 10^{-6}$ cubic metre.

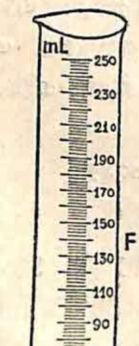
$\therefore$ **1 ঘন মিটার (m^3) = 1000,000 ঘন-সেণ্টিমিটার** (c.c. অথবা cm^3)

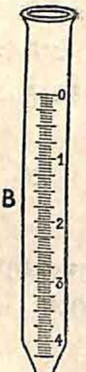
এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে আয়তনের একক 1 ঘনফুট (cu. ft অথবা ft^3)। একটি ঘনক, যাহার দৈর্ঘ্য 1 ফুট, প্রস্থ 1 ফুট এবং উচ্চতা 1 ফুট, ঐ ঘনকটির আয়তন 1 ঘন-ফুট। এক ঘন-ফুটকে ঘন-গজে পরিবর্তিত করিতে হইলে, এইরূপে প্রকাশ করিতে হইবে, যথা—

1 cu. ft $= 1$ ft $\times 1$ ft. $\times 1$ ft. $= \frac{1}{3}$ yd $\times \frac{1}{3}$ yd $\times \frac{1}{3}$ yd $= \frac{1}{27}$ cubic yard

$\therefore$ **1 ঘন-গজ (cu. yd) = 27 ঘন-ফুট (cu. ft)**

ঘনফুট ও ঘন-সেণ্টিমিটারের সহিত সম্বন্ধ—আমরা জানি যে 1 ফুট = 30·48 সেন্টিমিটার। সুতরাং 1 cu. ft $= 1$ ft. $\times 1$ ft. $\times 1$ ft. $= 30{\cdot}48$ cms. $\times 30{\cdot}48$ cms. $\times 30{\cdot}48$ cms. $= 28316{\cdot}83$ c.c. আমরা সাধারণতঃ কঠিন ও বায়বীয় পদার্থের আয়তন উপরোক্ত যে কোন পদ্ধতিতে পরিমাপ করি।





চিত্র নং 10 চিত্র নং 11

তরল পদার্থের আয়তন—কয়েক বৎসর পূর্ব পর্যন্তও কোন তরল পদার্থের আয়তন ঘন-ফুট, ঘন-সেন্টিমিটার অথবা নতুন একক লিটার বা গ্যালনে পরিমাপ করা হইত। এখন কোন তরলের **বিশুদ্ধ** পরিমাপে সি. জি. এস. পদ্ধতির আয়তনের একক লিটারেই প্রকাশ করা হয়। ইহার একটি ইতিহাস আছে, যাহার সারমর্ম নিম্নে দেওয়া হইল।

প্রথমে যখন বৈজ্ঞানিক সম্মেলনে আন্তর্জাতিক কিলোগ্রামের মান ধার্য করা হয়, তখন 1000 ঘন-সেন্টিমিটার আয়তনের 4° সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রায় (সর্বাপেক্ষা ঘনত্বপূর্ণ অবস্থায়) বিশুদ্ধ জলের ভরের সঙ্গে ঠিক সমান করিয়া প্ল্যাটিনামের ধাতুখণ্ডটির ভর তৈয়ার করা হইয়াছিল। তখন ঐ 1000 ঘন- সেন্টিমিটার আয়তনকেই **এক লিটার** নাম দিয়া তরল পদার্থের আয়তন নির্ধারিত করা হইত। কিন্তু আধুনিক যুগে বিজ্ঞানাগারে অতি সূক্ষ্ম পরিমাপক যন্ত্র আবিষ্কৃত হওয়ায় তদ্বারা পরিমাপ করিয়া বিজ্ঞানীরা দেখিয়াছেন যে ঐ আন্তর্জাতিক কিলোগ্রামটির ভর ঠিক 1000

ঘন-সেন্টিমিটার বিশুদ্ধ জলের ভরের পরিবর্তে 1000·028 ঘন সেন্টিমিটার বিশুদ্ধ জলের 4° সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রায় ভরের ঠিক সমান হইয়াছে। যদিও সাধারণভাবে এই তারতম্য আমরা বিচার করি না, তথাপি সূক্ষ্ম পরিমাপের ক্ষেত্রে 1000 ঘন-সেন্টিমিটারকে এক লিটার বলা উচিত হইবে না। অধুনা তরল পদার্থের আয়তনের মাপ ঘন-সেন্টিমিটারে প্রকাশ না করিয়া লিটারেই প্রকাশ করা হয়। **এখন এক লিটার বিশুদ্ধ জলের 4°C তাপমাত্রায় ভরকে এক আন্তর্জাতিক কিলোগ্রাম বলা হয়।** তরল পদার্থের আয়তনের মাপ এক লিটারের হাজার ভাগের এক ভাগ, অর্থাৎ এক মিলি-লিটারে (milli-litre অথবা ml.) প্রকাশ করা হয়। দেখিবে আজকাল ঔষধের শিশিতে সব সময়ে তরল ঔষধের আয়তন মিলি লিটারে প্রকাশ করা হইতেছে।

(চিত্র নং 10) প্রকৃত পক্ষে 1 মিলি-লিটার (ml.) = 1·000028 ঘন-সেন্টিমিটার।

সি. জি. এস. পদ্ধতিতে তরলের আয়তন—উপরে লিখিত যুক্তি অনুসারে তরলের আয়তনের একক এক লিটার। ইহার গুণিতক ও গুণিতাংশ নিম্নে দেওয়া হইল।

10 মিলি-লিটার (mls.) = **1** সেন্টিলিটার (cl)
10 সেন্টিলিটার (cls) = 1 ডেসিলিটার (dl)
10 ডেসিলিটার (dls) = 1 লিটার (l)

10 লিটার (ls) = **1** ডেকালিটার (Dl)
10 ডেকালিটার (Dls) = 1 হেক্টোলিটার (Hl)
10 হেক্টোলিটার (Hls) = 1 কিলোলিটার (Kl)

সুতরাং 1 লিটার (litre বা l.) = 1000 মিলি-লিটার (milli-litres বা mls.)

এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে তরলের একক—এই পদ্ধতিতে তরলের আয়তনের একক এক গ্যালন বলা হয়। **62° ফারেনহাইট তাপমাত্রায় রক্ষিত 10 পাউণ্ড (lb.) বিশুদ্ধ জলের আয়তনকে 1 গ্যালন ধরা হয়।** গ্যালনের গুণিতক ও গুণিতাংশ নিম্নরূপ :—

4 জিল (gill) = 1 পাইন্ট (Pint)
2 পাইন্ট = 1 কোয়ার্ট (Quart)

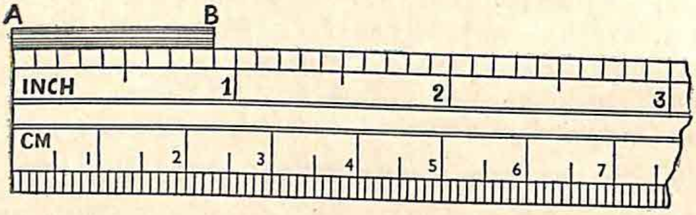
4 কোয়ার্ট = 1 গ্যালন (Gallon)
36 গ্যালন = 1 ব্যারেল (Barrel)

1 ঘনফুট = 6·25 গ্যালন ; 1 গ্যালন = 4·55 লিটার

1.7. এম. কে. এস. পদ্ধতি (M. K. S. System)—এই পদ্ধতি আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্রে প্রথম প্রচলিত হয়। ইহাতে দৈর্ঘ্যের একক মিটার (M), ভরের একক কিলোগ্রাম (Kg) এবং সময়ের একক সেকেণ্ড (S)। সুতরাং স্বল্প কথায় এই পদ্ধতিকে M. K. S. পদ্ধতি বলা হয়। ইহার প্রচলন এখন অন্যান্য দেশেও আরম্ভ হইয়াছে। আধুনিক কালের পরিমাপ-পদ্ধতি সম্বন্ধে শেষ বৈজ্ঞানিক সম্মেলন 1960 খৃষ্টাব্দে অনুষ্ঠিত হইয়াছে। এই সম্মেলনে সর্বসম্মতিক্রমে নিম্নলিখিত প্রস্তাব গৃহীত হইয়াছে,—

অতঃপর একটি সর্বদেশীয় একক পদ্ধতি গ্রহণ করা হইল এবং ইহা এম. কে. এস. পদ্ধতিই হইবে। সংক্ষিপ্ত ভাবে ইহাকে আন্তর্জাতিক মানের একক পদ্ধতি (Standard Unit) সংক্ষেপে (S.I.) বলা হইবে। ভারতে এখনও সি. জি. এস. পদ্ধতি সাধারণভাবে ব্যবহার হয়। তবে উচ্চশিক্ষা ও গবেষণাগারে এম. কে. এস. পদ্ধতির ব্যবহার করিতে হয়। (পরিশিষ্ট A দেখ।)

1.8. দৈর্ঘ্যের পরিমাপ (Measurement of Length)—বিজ্ঞানে কোটি কোটি মাইল হইতে এক সেন্টিমিটারের দশ কোটি ভাগের একভাগ পর্যন্ত পরিমাপ করিবার প্রয়োজন হয়। অতি বৃহৎ হইতে অতি ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য একই যন্ত্রের দ্বারা মাপ



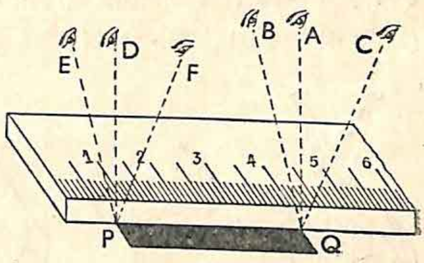
চিত্র নং 12

করা সম্ভবপর হয় না। বিভিন্ন পাল্লার দৈর্ঘ্যের জন্য বিভিন্ন যন্ত্রের ব্যবহার করিতে হয়। পরীক্ষাগারে সাধারণতঃ কয়েক মিটার দৈর্ঘ্য হইতে এক মিলিমিটারের শত ভাগের এক ভাগ পর্যন্ত পরিমাপ করিতে হয়। এই যন্ত্রগুলির বিবরণ ও ব্যবহার প্রণালী পর পর আলোচিত হইবে।

(i) **রৈখিক স্কেল (Linear Scale)**—সি. জি. এস. পদ্ধতি অনুসারে যে রৈখিক স্কেল ব্যবহৃত হয়, তাহার নাম **মিটার স্কেল**। এই স্কেলটির দৈর্ঘ্য 1 মিটার অথবা 50 সেন্টিমিটার হইতে পারে এবং ইহা কাষ্ঠনির্মিত। আজকাল প্লাস্টিকের স্কেলও তৈয়ারী হইতেছে। ইহার একদিকে সেন্টিমিটার ও তাহার দশমাংশ মিলিমিটারে দাগ কাটা আছে এবং অন্যদিকে ইঞ্চি ও তাহার আট অথবা দশভাগে ভাগ করা আছে (12 নং চিত্র)। আবার এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে কোন কোন স্কেল দৈর্ঘ্যে এক গজ বা এক ফুটও করা হয়। তাহার দুই দিকেই ইঞ্চির গুণিতাংশে (যেমন 16 অথবা 20) ভাগে ভাগ করা থাকে। ইহাকে আমরা **ফুট-রুল** বলি।

স্কেলের ব্যবহার—মনে কর একটি সরল রেখা AB-র দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে। প্রথমে স্কেলটি ঐ সরলরেখা বরাবর খাড়াভাবে অথবা পাশাপাশি এমনভাবে রাখ যেন A বিন্দু 0 ইঞ্চি দাগের সহিত মিলিত হয়। যদি B বিন্দু 0·9 ইঞ্চি দাগের সহিত মেলে, তবে AB রেখার দৈর্ঘ্য হইবে $(0·9-0)=0·9$ ইঞ্চি। আর যদি B বিন্দু কোন দাগের সহিত না মিলিয়া দুই পরস্পর দশমাংশ ইঞ্চি দাগের মধ্যে থাকে (যেমন মনে কর ·9 এবং 1 ইঞ্চি দাগের মধ্যে) তাহা হইলে B বিন্দুর অবস্থান পূর্ণসংখ্যা না হইয়া একটি ভগ্নাংশে পরিণত হইবে। এই ভগ্নাংশটি চোখের আন্দাজে ঠিক করিতে হইবে। এই চোখের আন্দাজকে **দৃষ্টি-অনুমান** (eye-estimation) বলা হয়। দৃষ্টি অনুমানে এক ইঞ্চির দশমাংশের 5 ভাগের একভাগ পর্যন্ত হিসাব করা সম্ভব। অনুরূপক্রমে মিলিমিটার স্কেলের এক মিলিমিটারের চার ভাগের এক ভাগ পর্যন্ত পরিমাপ করা যায়।

দৃষ্টিভ্রম (Parallax Error)—কোন বস্তুর দৈর্ঘ্য মাপিবার সময় স্কেল পড়িতে গেলে সব সময় মাপের বিন্দুটাকে স্কেলের পৃষ্ঠের লম্বভাবে দেখিতে হইবে। তাহা না হইলে দৈর্ঘ্যের মাপের দৃষ্টিভ্রম জনিত ত্রুটি হইবে। 13 নং চিত্রে এই ভুলটি কি-ভাবে হয় তাহা দেখান হইতেছে। স্কেলটি কাত করিয়া রাখা হইয়াছে বলিয়া P বিন্দুটি স্কেলের তলার দিকে রহিয়াছে। এখন যদি E স্থান হইতে ঐ বিন্দুটির অবস্থান স্কেলে পড়া হয়, তবে ইহা 7·0 mm. দেখাইবে।



চিত্র নং 13

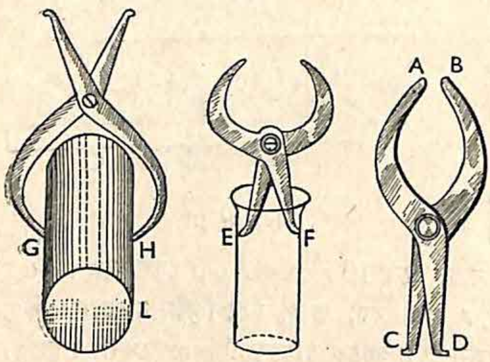
আবার যদি F স্থান হইতে পড়া যায়, তবে 10 mm.=1 cm দেখাইবে। এই রকম বক্রভাবে যদি কোন স্কেলকে পড়া হয়, তাহা হইলে দৃষ্টিভ্রম হয়। কিন্তু লম্বভাবে D স্থান হইতে P বিন্দুর অবস্থান স্কেল হইতে পড়িলে 9 mm দেখা যাইবে। এই লম্বভাবে পাঠ নিলেই সঠিক পড়া হয়।

(ii) **পরিমাপক চেন (Measuring Chain)**—জমি জরিপ করিতে এই চেনের ব্যবহার করা হয়। প্রতিটি 1 ফুট লম্বা আংটা লাগান ইস্পাতের দণ্ড শিকলের ন্যায় জুড়িয়া 100 ফুট দৈর্ঘ্য করা হয়। দুই বা ততোধিক লৌহশলাকা ইহার সঙ্গে ব্যবহারের জন্য রাখা হয়, যাহাদের এক প্রান্ত সরু এবং অপর প্রান্ত একটি গোল আংটির মত। যে স্থান হইতে পরিমাপ আরম্ভ হইবে সেখানে ইস্পাতের শিকলের প্রথম আংটা রাখিয়া তাহার মধ্য দিয়া শলাকার সরু প্রান্তটি মাটির মধ্যে পুঁতিয়া দেওয়া হয়। চেনের অপর দিকটি যে অভিমুখে পরিমাপ করিতে হইবে সেই দিকে টানিয়া লইয়া যখন সোজা করা হইল, তখন শেষ প্রান্তের আংটাটির গায়ে দ্বিতীয় শলাকাটি মাটিতে বিদ্ধ করা হইল। সুতরাং দুই শলাকার দূরত্ব 100 ফুট হইল। এই ভাবে শলাকার পর শলাকা পুঁতিয়া কয়েক শত গজ দৈর্ঘ্য পর্যন্ত পরিমাপ করা সম্ভব।

(iii) **পরিমাপক ফিতা (Measuring Tape)**—যেখানে পরিমাপক চেন হইতে অপেক্ষাকৃত কম দৈর্ঘ্যের মাপ লইতে হইবে, যেমন ছোট একখণ্ড জমি অথবা ঘর, বাড়ী, জানালা ইত্যাদি, সেই স্থলে ফুট অথবা মিটার স্কেলের ফিতা ব্যবহার করা হয়। এই ফিতা একটি চক্রাকার কৌটার মধ্যে জড়ান থাকে। 100 ফুট অথবা 40 মিটার মাপ করা যায়, এইরূপ ফিতা সাধারণতঃ কাপড়ের হয়। 10 ফুট অথবা 4 মিটারের ফিতা ইস্পাতেরও তৈয়ারী হয়। কাপড়ের ফিতার গোড়াতে একটি আংটা থাকে। ফিতা জড়াইবার জন্য একটি হাতল কৌটার বাহিরের দিকে লাগান থাকে। জমি সার্ভেয়ারদের কাছে এইরকম ফিতা দেখিতে পাওয়া যায়।

(iv) **সরল ক্যালিপার্শ (Simple Callipers)**—অনিয়তাকার বস্তু যাহার যে কোন দুইটি বিন্দুর মধ্যের দূরত্ব রৈখিক স্কেলের দ্বারা মাপা সম্ভবপর নয়, অথবা

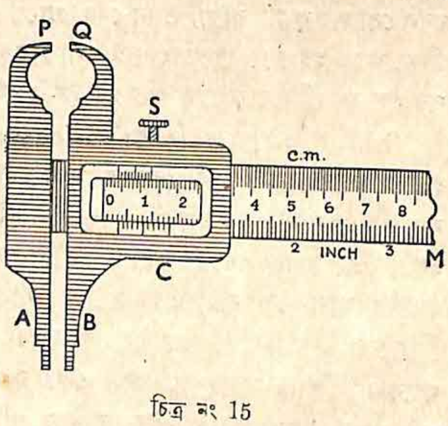
কোন গোলকের ব্যাসার্ধ বা কোন চোঙের ব্যাস যাহাও সাধারণ স্কেলে পরিমাপ করার অসুবিধা হয়, সেই স্থলে এই যন্ত্রটিকে ব্যবহার করা হয়। দুইটি একই আকারের ইস্পাতের ফলক AB তাহাদের মধ্যস্থলে একটি অক্ষে কাঁচির ফলকের মত ঘুরিতে পারে (14*a* নং চিত্র)। কোন বস্তুর বহিস্থ দুইটি বিন্দুর দূরত্ব মাপিতে উপরের দিকের ফলা দুইটির অগ্রভাগ ব্যবহার করা হয়। যেমন একটি চোঙের বহির্ব্যাস মাপ করিতে হইলে ক্যালিপার্শটির AB ফলক দুইটি ক্রমশঃ ফাঁক করিয়া চোঙের বহির্গাত্রের ব্যাসের দুইটি প্রান্তের (GH) সঙ্গে লাগাইতে হইবে (চিত্র নং 14*c*)। তৎপর ঐ ক্যালিপার্শটিকে সরাইয়া আনিয়া একটি মিটার স্কেলের উপরে রাখিয়া দৈর্ঘ্যটি দেখিতে হইবে। যদি কোন ফাঁপা বস্তুর ভিতরকার কোন দৈর্ঘ্য মাপিতে হয়, যেমন মনে কর একটি ফাঁপা চোঙের অন্তর্ব্যাসের পরিমাপ, সেস্থলে ক্যালিপার্শের CD অংশ ব্যবহার করিতে হইবে। এস্থলেও ক্যালিপার্শটিকে ঐ অবস্থায় আনিয়া একটি মিটার স্কেলের সঙ্গে তুলনা করিয়া E এবং F বিন্দুর দূরত্বই ঐ দৈর্ঘ্যের পরিমাপ (14*b* নং চিত্র)। এসব স্থলে মিলিমিটারের ক্ষুদ্র অংশ চোখের আন্দাজে করিতে হইবে।



(*c*) (*b*) (*a*)

চিত্র নং 14

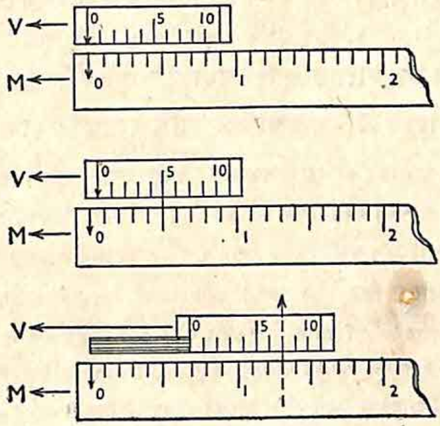
1·9. ভার্নিয়ার ক্যালিপার্শ (Vernier Callipers)—পূর্বেই বলা হইয়াছে যে মিটার স্কেলের সাহায্যে আমরা কোন দৈর্ঘ্যের পরিমাপ নিম্নদিকে মিলিমিটার পর্যন্ত করিতে পারি, যেহেতু ঐ স্কেলের ক্ষুদ্রতম অংশ এক মিলিমিটার। তদপেক্ষা ক্ষুদ্রতর অংশ পড়িতে চোখের আন্দাজ (eye-estimation) কাজে লাগাইতে হয়; সুতরাং অল্প-বিস্তর ভুল হইবার আশঙ্কা থাকে। ফরাসী অঙ্কবিদ্ পিয়ারী ভার্নিয়ার সপ্তদশ শতকে এমন একটি স্কেলের উদ্ভাবন করিলেন যদ্বারা এক মিলিমিটারের ক্ষুদ্রাংশ নির্ভুলভাবে পরিমাপ করা সম্ভবপর হইয়াছে। তাহার নামানুসারে এই স্কেলকে ভার্নিয়ার স্কেল বলা হয়।



চিত্র নং 15

যন্ত্রের বিবরণ—ভার্নিয়ার স্কেল C (15 নং চিত্র) মূল স্কেল M-এর সহিত একটি

ফ্রেম দ্বারা যুক্ত আছে। এই ফ্রেমটিকে মূল স্কেলের গা ঘেঁষিয়া আগে-পিছে সরাইতে পারা যায় এবং যে কোন স্থানে উপরের স্ক্রু S-এর সাহায্যে আটকাইয়া দেওয়া যায়। মূল স্কেলটির উপর এবং নীচের দিকে স্কেলের দাগ কাটা আছে—একদিকে সেন্টিমিটার স্কেল অপর দিকে ইঞ্চি স্কেল। সাধারণতঃ সেন্টিমিটার স্কেলটিকে মিলিমিটার ক্ষুদ্রাংশে ভাগ করা থাকে আর ইঞ্চি স্কেলটি প্রতি ইঞ্চিকে 20 ভাগে ভাগ করা থাকে। দুই ধারে মূল স্কেল আছে বলিয়া দুইটি ভার্নিয়ার স্কেল থাকিবার প্রয়োজন আছে।



চিত্র নং 16

প্রতি ভার্নিয়ার স্কেলেও সম দূরে দূরে দাগ কাটা থাকে। কিন্তু সাধারণত **ভার্নিয়ারের 10 দাগের দূরত্ব মূল স্কেলের 9 ঘরের দূরত্বের সমান করা হয়।** এমন ভার্নিয়ার স্কেলও রহিয়াছে যে তাহার 20টি দাগের দূরত্ব মূল স্কেলের 19 ঘরের সমান অথবা 50টি ভার্নিয়ার স্কেল 49টি মূল স্কেলের সমান। মূল স্কেল এবং ভার্নিয়ার স্কেলের গোড়ার দিকে উপরে এবং নীচে এক একটি করিয়া দাড়া (jaw) রৈখিক স্কেল দুইটির লম্বভাবে প্রসারিত আছে। কোন নিরেট বস্তুর দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য উপরের দাড়া দুইটি PQ এবং ফাঁপা বস্তুর ভিতরের দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য নীচের দাড়া দুইটি AB ব্যবহৃত হয়।

ভার্নিয়ার স্কেলের স্থিরাঙ্ক—আমরা একটি মূল স্কেল সহ একটি ভার্নিয়ার স্কেলের সম্পর্ক নির্ণয় করিব। মনে কর মূল সেন্টিমিটার স্কেলে (M) ক্ষুদ্রতম দাগগুলির দূরত্ব 1 মিলিমিটার (mm.) এবং ভার্নিয়ার স্কেলের 10 ঘর মূল স্কেলের 9 ঘরের সমান (চিত্র নং 16 *a*). দৈর্ঘ্য হিসাবে সমান বলিয়া নিম্নলিখিত যুক্তি দেখান যায়,—

10 ভার্নিয়ার ঘর = মূল স্কেলের 9 ঘর = 9 mm.

$\therefore$ 1 ভার্নিয়ার ঘর = মূল স্কেলের $\frac{9}{10}$ ঘর = 0·9 mm.

সুতরাং 1 মূল স্কেলের এক ঘর − ভার্নিয়ার স্কেলের এক ঘর = 1 − 0·9 = 0·1 mm = 0·01 cm.

মূল স্কেলের যত ঘরের সঙ্গে ভার্নিয়ার স্কেলের যত ঘরের সঙ্গে মিল হইয়াছে, তৎসাপেক্ষে মূল স্কেলের এক ঘর এবং ভার্নিয়ারের একঘরের বিয়োগ ফলকে মূল স্কেলের রাশিতে প্রকাশ করিলে সেই রাশিটিকে ভার্নিয়ারের স্থিরাঙ্ক (Vernier Constant) বলে।

উপরিউক্ত উদাহরণে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক 0·01 cm. ইহা হইতেই সহজে বোঝা যায় যে যদি মূল স্কেলের 0 দাগের সহিত ভার্নিয়ারের 0 দাগ মিল করা হয়, তবে মূল স্কেলের প্রথম দাগ এবং ভার্নিয়ারের প্রথম দাগের মধ্যে তফাৎ হইবে 1×0·1mm. = 0·1 mm. মূল স্কেলের দ্বিতীয় দাগ হইতে ভার্নিয়ারের দ্বিতীয় দাগের মধ্যে তফাৎ হইবে 2×0·1 = 0·2mm. এই যুক্তিদ্বারা দেখান সম্ভব যে **ভার্নিয়ারের যে কোন নম্বর দাগের এবং তাহার নিকটবর্তী মূল স্কেলের দাগের মধ্যে তফাৎ হইবে ভার্নিয়ারের ঐ নম্বর দাগ × ভার্নিয়ারের স্থিরাঙ্ক।**

এখন মনে কর ভার্নিয়ার স্কেলকে একটু সরান হইল, সুতরাং স্কেলের 0 দাগ আর ভার্নিয়ারের 0 দাগের পার্থক্য হইয়া গেল। এই 0 এবং 0 মধ্যে পার্থক্য বা দূরত্ব আমরা কিভাবে জানিতে পারি? দেখিতে পাইতেছ ভার্নিয়ারের সপ্তম দাগ মূল স্কেলের সপ্তম দাগের সঙ্গে মিল হইয়াছে। পূর্বে যখন 0 এবং 0 দাগে মিল ছিল তখন ভার্নিয়ারের সপ্তম দাগ এবং মূল স্কেলের সপ্তম দাগের মধ্যে তফাৎ ছিল 7×0·1 mm. = 0·7 mm. সুতরাং যখন দুইটি সপ্তম দাগের সঙ্গে মিল হইয়াছে, তখন অবশ্যই ভার্নিয়ার স্কেলের 0 দাগ মূল স্কেলের 0 দাগ হইতে 0·7mm. সরিয়া গিয়াছে। যদি ভার্নিয়ারের অষ্টম দাগের সহিত মিলিত হইত, তবে 00 দাগের দূরত্ব হইত 8×0·1 = 0·8 mm. এইভাবে ভার্নিয়ার স্কেলের স্থিরাঙ্ক 0·1 mm. হইলে এক মিলিমিটারের এক দশমাংশ পর্যন্ত নির্ভুলভাবে পরিমাপ করা যায়। এমন ভার্নিয়ার স্কেল আছে যাহার স্থিরাঙ্ক 0·01 mm. সুতরাং ঐ ভার্নিয়ারের সাহায্যে এক মিলিমিটারের শতভাগের একভাগ পর্যন্ত পরিমাপ করা সম্ভবপর।

ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্কের সাধারণ সূত্র (General formula for Vernier Constant)

মনে কর ভার্নিয়ার স্কেলের n ঘর = মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম $(n-1)$ ঘর

সুতরাং ভার্নিয়ারের 1 ঘর = মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম $\frac{n-1}{n}$ ঘর

∴ ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক = মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম 1 ঘর − ভার্নিয়ার স্কেলের এক ঘর

= মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘর × $\left(1-\frac{n-1}{n}\right)$

= $\frac{1}{n}$ × মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘর।

যদি মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘর 1 mm. হয় এবং যদি $n=10$ হয়, তবে ঐ ভার্নিয়ারের স্থিরাঙ্ক 0·1 mm. হইবে। আবার যদি ইঞ্চির দিকে মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘর $\frac{1}{20}$ ইঞ্চি হয় এবং $n=10$ হয় তবে সেই ভার্নিয়ারের স্থিরাঙ্ক $\frac{1}{10}\times\frac{1}{20}=\frac{1}{200}$ ইঞ্চি = 0·005 ইঞ্চি হইবে।

ভার্নিয়ার স্কেলের ব্যবহারবিধি (Method of Measurement)—কোন ভার্নিয়ার ক্যালিপার্শ দ্বারা কোন বস্তুর দৈর্ঘ্য মাপিবার পূর্বে প্রথমেই ঐ ভার্নিয়ারের স্থিরাঙ্ক বাহির করিতে হইবে। মনে কর বস্তুটি একটি ছোট দণ্ড। ঐ দণ্ডটির এক প্রান্ত মূল স্কেলের স্থির দারের সঙ্গে ঠেকাইয়া ভার্নিয়ারের দারটি সরাইয়া আনিয়া দণ্ডটির অন্যপ্রান্তের সঙ্গে ছোঁয়াইতে হইবে। তাহা হইলে দার দুইটির ভিতরের ফাঁকটির দৈর্ঘ্য ঠিক দণ্ডটির দৈর্ঘ্যের সমান হইবে। ইহার একটি সরল ছবি 16 নং চিত্রে দেখান হইতেছে। ঐ চিত্রানুসারে দেখা যাইতেছে যদি মূল স্কেলের ন্যূনতম

ঘর 1 mm. হয়, তাহা হইলে দণ্ডটির প্রথম প্রান্ত স্কেলের শূন্য দাগের সঙ্গে মিলিয়াছে এবং শেষপ্রান্ত 5 mm. ছাড়াইয়া গিয়াছে কিন্তু 6 mm. দাগ পর্যন্ত পৌছায় নাই। সুতরাং সাধারণ ভাবে দেখিলে উহার দৈর্ঘ্য 5 mm. হইয়াও **কিছু মিলিমিটারের ভগ্নাংশ হইবে**। এই ভগ্নাংশ ভার্নিয়ার স্কেলের সাহায্যে জানিতে হইবে।

এখন ভার্নিয়ার স্কেলের কত নম্বর দাগটি মূল স্কেলের একটি দাগের সঙ্গে কোথায় মিলিয়াছে তাহা খুঁজিয়া বাহির করিতে হইবে। চিত্রে দেখান হইতেছে যে ভার্নিয়ারের সপ্তম দাগ স্কেলের একটি দাগের সঙ্গে মিলিয়াছে। সুতরাং এই ভগ্নাংশটি 7 × ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক। এস্থলে স্থিরাঙ্ক 0·1 mm. হইলে ভগ্নাংশটি 7 × ·1 = 0·7 mm. হইবে। তাহা হইলে দণ্ডটির দৈর্ঘ্য (5 + 0·7) mm. = 5·7 mm. অতএব ভার্নিয়ার ক্যালিপার্সের ব্যবহারের সাধারণ নিয়ম নিম্নলিখিত সূত্রদ্বারা পরিচালিত হয় :—

বস্তুর দৈর্ঘ = মূল স্কেলের পাঠ + ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ × ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক।

ভার্নিয়ারের আদি বিভ্রান্তি (Zero Error of a Vernier)—পুরাতন বা বহু ব্যবহৃত ক্যালিপার্সে অনেক সময় দেখা যায় যে ভার্নিয়ারের স্কেলের দারটি মূল স্কেলের দারের সঙ্গে ঠেকাইয়া দিলে যেখানে 0—0 দাগ দুইটির মিল হইবার কথা, তাহা হইতেছে না। ভার্নিয়ারের শূন্য দাগ মূল স্কেলের শূন্য দাগের হয় সামান্য সামনের দিকে, না হয় সামান্য পিছনের দিকে রহিয়াছে। এই যে **দার দুইটির সংযুক্তি অবস্থায় স্কেল দুইটির 0 – 0 দাগের গরমিল, ইহাকে আদি বিভ্রান্তি বলা হয়**। এই আদি বিভ্রান্তি ধনাত্মক (+) বা ঋণাত্মক (–) হইতে পারে। যদি ভার্নিয়ারের শূন্য দাগ মূল স্কেলের শূন্য এবং প্রথম দাগের মধ্যবর্তী কোন স্থানে থাকে তবে এই ত্রুটি ধনাত্মক। আর যদি মূল স্কেলের শূন্য দাগের পিছনে থাকে তবে এই ত্রুটি ঋণাত্মক।

এই আদি বিভ্রান্তির পরিমাপ করিতে হইলে দার দুইটিকে সংযুক্ত করিয়া দিতে হইবে এবং প্রথমত দেখিতে হইবে এই zero error ধনাত্মক কি ঋণাত্মক। তৎপর ভার্নিয়ারের কত নম্বর দাগের সহিত মূল স্কেলের দাগের সহিত মিল হইয়াছে, তাহার সহিত ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক গুণ করিলে আদি বিভ্রান্তির পরিমাণ পাওয়া গেল। ইহার পর পূর্ব অনুচ্ছেদে বর্ণিত যেভাবে একটি বস্তুর দৈর্ঘ্যের পরিমাপ করা হয়, সেইভাবে পাঠ করিতে হইবে। এই পাঠের ফলটিকে **আপাত দৈর্ঘ্য** বলা হয়। এখন প্রকৃত দৈর্ঘ্য পাইতে গেলে নিম্নলিখিত নিয়ম অনুসরণ করিতে হইবে।

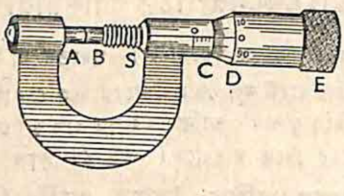
প্রকৃত দৈর্ঘ্য = আপাত দৈর্ঘ্য – ধনাত্মক আদি বিভ্রান্তি অথবা আপাত দৈর্ঘ্য + ঋণাত্মক আদি বিভ্রান্তি।

1.10. মাইক্রোমিটার স্ক্রু-গেজ (Micrometer Screw Gauge)—

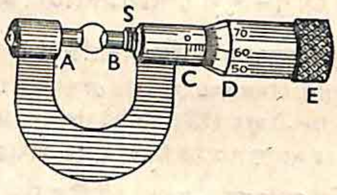
খুব ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য, যেমন একটি সরু তারের ব্যাস অথবা খুব পাতলা ধাতব পাতের বেধ (thickness) প্রভৃতির পরিমাপ করিবার জন্য এই যন্ত্রের ব্যবহার করা হয়।

যন্ত্রের বিবরণ—এই যন্ত্রটির প্রধানত দুইটি অংশ থাকে। ইহা একটি U-আকারের ধাতু নির্মিত ফ্রেম যাহার একাংশে একটি সমতল প্রান্তবিশিষ্ট ছোট ইস্পাতের দণ্ড A শক্তভাবে আটকান আছে। ফ্রেমের অপর প্রান্তের মধ্য দিয়া একটি সমতল প্রান্তবিশিষ্ট স্ক্রু-কাটা দণ্ড B রহিয়াছে (চিত্র নং 17)। এই দণ্ডটির অপর প্রান্তে একটি ছিপি (drum) E কিছুটা আল্‌গাভাবে লাগান আছে। এই ছিপিটি ঘুরাইলে B প্রান্তটি

আগাইতে বা পিছাইতে পারে। E হইতে D পর্যন্ত হাতলটি ফাঁপা এবং এই ফাঁপা চোঙটির D প্রান্তভাগে একটি চক্রাকার স্কেল আছে যাহা সাধারণত 100 ভাগে ভাগ করা থাকে। ঘরগুলি অত্যন্ত ক্ষুদ্র বলিয়া প্রতি দশঘর অন্তর একটি করিয়া সংখ্যা দেওয়া আছে। যে অক্ষের উপর স্ক্রুটি যাতায়াত করে, তাহার সমান্তরাল একটি মিলিমিটার স্কেল আছে (যাহার কিয়দংশ C-এর উপরিভাগে দেখা যাইতেছে)। ছিপি E একদিকে ঘুরাইলে B প্রান্ত A প্রান্তের দিকে আগাইতে থাকিবে এবং সঙ্গে সঙ্গে D চক্রাকার স্কেলটিও ঘুরিবে ও ইহার বৃত্তাকার প্রান্ত ক্রমশ রৈখিক (linear) স্কেলটির 0-এর দিকে আসিতে থাকিবে। যখন A এবং B এর প্রান্তদ্বয় মিলিয়া যাইবে, তখন **যন্ত্রটি ত্রুটিহীন হইলে বৃত্তাকার প্রান্ত রৈখিক স্কেলের 0 দাগের উপরে আসিবে এবং বৃত্তাকার স্কেলের 0 রৈখিক স্কেলের 0 বিন্দুর সঙ্গে মিলিবে।**



চিত্র নং 17



চিত্র নং 18

যন্ত্রের ব্যবহার বিধি—প্রথমত যন্ত্রটি ক্ষুদ্রতম কতটা দৈর্ঘ্য মাপিতে সক্ষম তাহা দেখিতে হইবে। ইহা নির্ণয় করিতে হইলে চক্রাকার স্কেলের 0-দাগ রৈখিক স্কেলের মান-রেখার সহিত মিলাইয়া দাও এবং রৈখিক স্কেলের এক একটি ঘরের মান জানিয়া লও।* সাধারণত ইহা 1 mm. দেখা যায়। তাহার পর E ছিপি ধরিয়া স্ক্রুটি ঘুরাও এবং চক্রাকার স্কেলের উপর লক্ষ্য রাখ। স্ক্রুটি একবার পূর্ণ ঘুরাইলে চক্রাকার স্কেলের 0-দাগ আবার মিলিমিটার স্কেলের মান রেখার উপর আসিবে। **একবার পূর্ণ ঘূর্ণনে চক্রাকার স্কেল অথবা B-দণ্ডটি যতটা সরিয়া আসিল, তাহাকেই মাইক্রোমিটার স্ক্রু-পিচ বলা হয়।** মনে কর স্ক্রু-পিচ (pitch) 1 mm. এইবার চক্রাকার স্কেলে মোট কয়টি ভাগ আছে তাহা দেখিয়া লও। **পিচ রাশিটিকে চক্রাকার স্কেলের মোট ভাগসংখ্যা দিয়া ভাগ করিলে ভাগফলটিকে যন্ত্রের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক** (least count) **বলা হয়।** সুতরাং—

$$\text{লঘিষ্ঠ ধ্রুবক (Least count)} = \frac{\text{স্ক্রু-পিচ}}{\text{চক্রাকার স্কেলের মোট ভাগসংখ্যা}}$$

মনে কর, চক্রাকার স্কেলে 100টি ভাগ আছে এবং পিচ 1 mm. তাহা হইলে লঘিষ্ঠ

* যদিও পূর্বে বলা হইয়াছে যে ঐ স্কেলটির দাগগুলির পরস্পর দূরত্ব 1 মিলিমিটার, তথাপি কোন কোন যন্ত্রের রৈখিক স্কেলে 0·5 মিলিমিটার দূরে দূরে দাগ কাটা থাকে। এমন মাইক্রোমিটারও আছে যে ঐ স্কেলের এক একটি ঘরের দৈর্ঘ্য এক ইঞ্চির কুড়িভাগের একভাগ।

† কোন কোন যন্ত্রের চক্রাকার স্কেলে 50টি ভাগও থাকে।

ধ্রুবক $\frac{1}{100}$ mm. = 0·01 mm. আবার মনে কর চক্রাকার স্কেলে 50 ভাগ এবং পিচ $\frac{1}{20}$ ইঞ্চি, তাহা হইলে ঐ যন্ত্রের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক $\frac{1}{50} \times \frac{1}{20} = \frac{1}{1000}$ = 0·001 ইঞ্চি। শেষোক্ত ধ্রুবককে ইন্‌জিনিয়ারিঙে এক **থাউ** বলে। লঘিষ্ঠ ধ্রুবকের সরল অর্থ হইল এই যে, চক্রাকার স্কেলটির এক ঘর মাত্র ঘুরাইলে B দণ্ডটির প্রান্ত যতটা সরিয়া যাইবে সেই দূরত্ব।

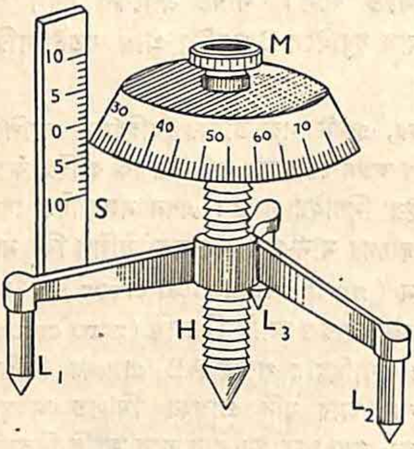
দৈর্ঘ্যের পরিমাপ পদ্ধতি—মনে কর, একটি সরু তারের বহির্ব্যাস মাপিতে হইবে। প্রথমত পূর্ব অনুচ্ছেদে বর্ণিত উপদেশ অনুসারে যন্ত্রের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক বাহির কর। তৎপর A এবং B প্রান্তদ্বয়কে ছিপি E ঘুরাইয়া মিশাইয়া দাও। এখন নজর দিয়া দেখ, চক্রাকার স্কেলের 0-দাগ রৈখিক স্কেলের 0-দাগের মান-রেখার সহিত মিলিল কি না। যদি উভয়ের মিলন হয়, তবে যন্ত্রটি ত্রুটিহীন (no instrumental error). কিন্তু দীর্ঘদিন ব্যবহারে ভার্নিয়ার ক্যালিপার্শের মতই ইহারও আদি বিভ্রান্তি (zero error) জন্মায়। যদি চক্রাকার স্কেলের 0-দাগ পর্যন্ত পৌঁছিবার পূর্বেই AB প্রান্তদ্বয় মিশিয়া যায়, তাহা হইলে zero error ধনাত্মক। আর যদি প্রান্তদ্বয় মিলিত অবস্থায় চক্রাকার স্কেলের 0-দাগ রৈখিক স্কেলের মান-রেখা ছাড়াইয়া যায় তবে আদি বিভ্রান্তি বা যান্ত্রিক ত্রুটি ঋণাত্মক। এই ত্রুটি সংশোধনের নিয়ম ভার্নিয়ার ক্যালিপার্শের মতই হইবে।

ধরা যাউক যন্ত্রটি ত্রুটিহীন এবং উহার লঘিষ্ঠ ধ্রুবক = 0·01 mm = 0·001 cm. এখন ঐ তারটিকে AB দুই প্রান্তের মধ্যে আড়াআড়িভাবে রাখিয়া E ছিপিটি আস্তে আস্তে ঘুরাও। যখন তারটির ব্যাসের দুই প্রান্ত A এবং B-এর তলে আসিয়া মিশিবে, তখন ছিপিটি আলগা থাকাতে ছিপি ঘুরাইলেও চক্রাকার স্কেল আর ঘুরিবে না। এখন রৈখিক স্কেলের সর্বশেষ সংখ্যাটি যাহা দেখা যাইতেছে, তাহা পাঠ কর। ইহাই হইল মূল স্কেলের পাঠসংখ্যা। ইহার পর চক্রাকার স্কেলের কোন্ সংখ্যাটি রৈখিক স্কেলের মান-রেখার সঙ্গে মিলিয়াছে তাহাও পাঠ কর। এই চক্রাকার স্কেলের সংখ্যাকে যন্ত্রের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক রাশিটি দ্বারা গুণ করিলে ভগ্নাংশ দৈর্ঘ্যটি পাওয়া যাইবে। এই দুইটির যোগফল আসল দৈর্ঘ্য, এস্থলে তারের ব্যাস। উদাহরণস্বরূপ মনে কর মূল স্কেলের পাঠ 1 mm. এবং চক্রাকার স্কেলের পাঠ 15. যদি লঘিষ্ঠ ধ্রুবক 0·01 mm. হয়, তবে তারের ব্যাস = 1 mm. + 15 × ·01 mm. = 1·15 mm. = 0·115 cm.

1.11. স্ফেরোমিটার (Spherometer)—এই যন্ত্র দ্বারা কোন পাতলা বস্তুর বেধ (Thickness), কোন অবতল (Concave) অথবা উত্তল (Convex) বস্তুর পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ পরিমাপ করা যায়।

যন্ত্রের বিবরণ—তিন বাহুযুক্ত একটি ধাতব ফ্রেম L_1, L_2, L_3 তিনটি সমদৈর্ঘ্য দণ্ডের উপর রক্ষিত (চিত্র নং 19)। এই দণ্ডগুলির পাদদেশ ক্রমশ সরু হইয়া প্রায় এক একটি সূচিকার মত হইয়াছে। এই শীর্ষবিন্দুগুলি সমদূরবর্তী। অতএব L_1, L_2, L_3 বিন্দুগুলিকে সরল রেখাদ্বারা যোগ করিলে একটি সমবাহু ত্রিভুজ হয়।

এই ধাতব ফ্রেমটির মধ্যস্থল দিয়া একটি মোটা ইস্পাতের স্ক্রু (H) উপর-নীচে যাতায়াত করিতে পারে। স্ক্রুটির উপরিভাগে একটি অনুভূমিক চক্রাকার স্কেল (M) একটি গোলাকার বণ্টু দ্বারা আটকান আছে। চক্রাকার স্কেলটি সাধারণত 100 ভাগে ভাগ করা থাকে এবং ইহার গা ঘেঁষিয়া একটি ছোট মিলিমিটার স্কেল (S) উল্লম্ব ভাবে রাখা আছে। উপরের বোতামটি ঘুরাইলে গোলাকার স্কেলটি সঙ্গে সঙ্গে ঘুরিবে। সুতরাং মিলিমিটার স্কেলটির গা বাহিয়া চক্রের পরিধি ওঠা-নামা করিতে পারে। H-স্ক্রুটির শীর্ষবিন্দু L_1, L_2, L_3 বিন্দুগুলিকে সংযুক্ত করিলে যে সমবাহু ত্রিভুজ হয়, তাহার কেন্দ্রবিন্দু স্পর্শ করে।



চিত্র নং 19

লঘিষ্ঠ ধ্রুবক নির্ণয় (Measurement of Least Count)—প্রথমে চক্রাকার স্কেলটি ঘুরাইয়া তাহার 0-দাগ উল্লম্ব মিলিমিটার স্কেলের **যে কোন দাগের সহিত মিলাইতে হইবে**। তাহার পর চক্রাকার স্কেলটিকে সম্পূর্ণ একবার ঘুরাইলে উহার 0-দাগ আবার মিলিমিটার স্কেলের **অন্য একটি দাগের সঙ্গে মিলিবে।** এই দুই দাগের মধ্যের দৈর্ঘ্যকে স্ফেরোমিটার **যন্ত্রের পিচ্** (pitch) বলা হয়। প্রকৃত পক্ষে H স্ক্রুটি একবার ঘুরাইলে এক প্যাঁচ উঠিবে বা নামিবে। এই এক প্যাঁচ ওঠা বা নামার দূরত্বই যন্ত্রের পিচ্। এখন চক্রাকার স্কেলের ভাগসংখ্যা দেখিতে হইবে।

অতএব, **যন্ত্রের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক** $= \dfrac{\textbf{স্ক্রু-পিচের দৈর্ঘ্য}}{\textbf{চক্রাকার স্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা}}$

মনে কর, পিচ্ $= 1$ mm. এবং চক্রাকার স্কেলের ভাগসংখ্যা $= 100$. সুতরাং যন্ত্রের পিচ্ $= \frac{1}{100}$ mm. $=$ ·01 mm. $=$ ·001 cm *।

পাতলা পাতের বেধ পরিমাপ (Measurement of Thickness)—মনে কর একখণ্ড পাতলা কাঁচের পুরুত্ব মাপিতে হইবে। প্রথমে স্ফেরোমিটারটির লঘিষ্ঠ ধ্রুবক বাহির কর। তৎপর উহাকে একটি বড় সমতল কাঁচের প্লেটের উপর বসাও। এই প্লেটটিকে পাদপ্লেট (Base Plate) বলা হয়। এইবার আস্তে আস্তে মাথার ছিপিটিকে এমন ভাবে ঘুরাও যে মধ্যের স্ক্রুটি নীচের দিকে যাইতে থাকে। যখন ঐ স্ক্রুর প্রান্ত প্লেটকে ছুঁইবে তখন স্ফেরোমিটার একটু মোচড় খাইয়া সামান্য ঘুরিয়া

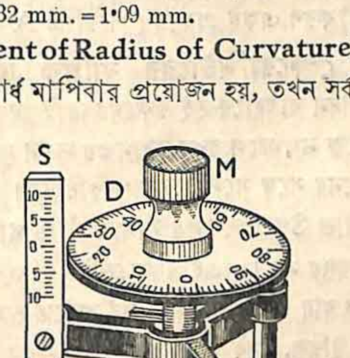
*এমন অসাধারণ সূক্ষ্ম স্ফেরোমিটার আছে যাহার পিচ্ 0·25 mm. এবং চক্রাকার স্কেলের ভাগসংখ্যা 250 সেই স্ফেরোমিটারের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক 0·25/250 = 0·001 mm. = 0·0001 cm. অর্থাৎ এই স্ফেরোমিটার এক সেন্টিমিটারের 10,000 ভাগের এক ভাগ পর্যন্ত পরিমাপ করিতে পারে।

যাইবে। অনেক সময় মধ্য স্ক্রুটির শেষ বিন্দুটি ও তাহার প্রতিবিম্বের মিলন হইতেও বোঝা যায় যে মধ্য স্ক্রু পাদপ্লেটকে ছুঁইয়াছে কিনা। এই অবস্থায় চক্রাকার স্কেলের পরিধি মূল স্কেলের যে পূর্ণ মিলিমিটার পার হইয়াছে, **উহাই হইবে রৈখিক স্কেলের পাঠ**। এখন চক্রাকার স্কেলের যে দাগ নম্বর রৈখিক স্কেলের সঙ্গে মিলিয়াছে, তাহা দেখিয়া লও। ঐ দাগ নম্বরের সঙ্গে যন্ত্রের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক গুণ করিলে যে গুণফল পাইবে, **তাহাই মিলিমিটারের ক্ষুদ্রাংশ**। এই দুইটি পাঠের যোগফল চক্রাকার স্কেলের প্রাথমিক অবস্থান বা পাঠ (Initial Reading) হইবে।

অতঃপর যে কাঁচটির পুরুত্ব মাপিতে হইবে তাহা পাদপ্লেটের মধ্যস্থলে রাখ। স্ফেরোমিটারের মধ্য স্ক্রুটি খানিকটা উপরের দিকে তুলিয়া রাখিয়া যন্ত্রটিকে ঐ পাদপ্লেটের উপরে এমনভাবে বসাও যেন মধ্য স্ক্রুটি নামাইলে ঐ কাচখণ্ডটির উপরিতল স্পর্শ করিতে পারে। এবার বোতামটি আস্তে আস্তে ঘুরাইয়া স্ক্রুর বিন্দুটি কাঁচখণ্ডকে স্পর্শ করাও। ঠিক স্পর্শ করিল কিনা তাহাও যন্ত্রটির সামান্য মোচড় খাওয়া হইতে বুঝিতে পারিবে। এমতাবস্থায় আবার চক্রাকারের পরিধি মূল স্কেলের মিলিমিটারের পূর্ণ দাগের কতটা পার হইয়াছে, তাহা পাঠ কর। তৎপর চক্রাকার স্কেলের যে দাগ মূল স্কেলের সঙ্গে মিলিয়াছে তাহাকে যন্ত্রের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক দ্বারা গুণ করিয়া মূল স্কেলের পাঠের সঙ্গে যোগ কর। ইহাকে বলা হয় অন্তিম পাঠ (Final Reading)। এই অন্তিম পাঠ ও প্রাথমিক পাঠের বিয়োগ ফলই কাঁচখণ্ডের পুরুত্ব বা বেধ।

মনে কর প্রাথমিক পাঠ এইরূপ : যন্ত্রের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক 0·01 mm. পাদপ্লেটের পাঠ মূল স্কেল 0 mm ও চক্রাকার স্কেল 32 ; সুতরাং পূর্ণ পাঠ $0+32\times0{\cdot}01=0{\cdot}32$ mm. অন্তিম পাঠ মূল স্কেল 1 mm. ও চক্রাকার স্কেল 41. সুতরাং পূর্ণ অন্তিম পাঠ $1+41\times0{\cdot}01=1{\cdot}41$ mm. অতএব কাঁচখণ্ডের বেধ = Final Reading − Initial Reading = 1·41 mm. − 0·32 mm. = 1·09 mm.

বক্রপৃষ্ঠের ব্যাসার্ধ নির্ণয় (Measurement of Radius of Curvature)—যখন কোন উত্তল বা অবতল পৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধ মাপিবার প্রয়োজন হয়, তখন সর্বপ্রথম স্ফেরোমিটারের পূর্ব অনুচ্ছেদে বর্ণিত পদ্ধতি অনুসারে লঘিষ্ঠ ধ্রুবক নির্ণয় করিতে হইবে। অতঃপর একটি সমতল কাঁচের প্লেটের (পাদপ্লেট) উপরে বসাইয়া উপরের বোতামটি ঘুরাইয়া মধ্য স্ক্রুর শীর্ষবিন্দুটি ঐ অনুচ্ছেদের নির্দেশ মত প্লেটের সঙ্গে ছোঁয়াইতে হইবে এবং যথারীতি মূল স্কেল এবং চক্রাকার স্কেল পাঠ করিয়া প্রাথমিক পাঠ (initial reading) নিতে হইবে। মনে রাখিও এই অবস্থাতে যন্ত্রের ত্রিপাদের শীর্ষবিন্দুগুলি এবং স্ক্রুর শীর্ষবিন্দু একই তলে থাকিবে।



চিত্র নং 20

মনে কর একটি উত্তল কাঁচখণ্ড দেওয়া হইল। এইবার মধ্য স্ক্রুকে ঘুরাইয়া খানিকটা

উপরে তুলিয়া লও যাহাতে যন্ত্রের তিনটি পা সহজে উত্তল পৃষ্ঠের উপর বসিতে পারে (20 নং চিত্র)। এখন আস্তে আস্তে উপরের বোতামটি ঘুরাইয়া স্ক্রুটিকে নামাইতে থাক এবং সতর্কতার সহিত পরীক্ষা কর কখন যন্ত্রটি সামান্য মোচড় খায়। সেই অবস্থায় স্ক্রুটির পাদবিন্দু উত্তল পৃষ্ঠকে ছুঁইয়াছে। এই অবস্থায় মূল স্কেল এবং চক্রাকার স্কেল হইতে দ্বিতীয় অথবা অন্তিম পাঠ (final reading) নাও। দ্বিতীয় পাঠ এবং প্রথম পাঠের বিয়োগফল মনে কর h cm.

এইবার একখণ্ড সাদা কাগজের উপর স্ফেরোমিটারটিকে বসাইয়া একটি চাপ দিলে যন্ত্রের তিনটি পায়ের শীর্ষবিন্দুগুলির চিহ্ন পড়িবে এবং এই বিন্দুগুলি সরলরেখা দ্বারা যোগ করিলে একটি সমবাহু ত্রিভুজ হওয়া উচিত। কিন্তু বহু ব্যবহৃত যন্ত্রে এই বাহুগুলির দৈর্ঘ্য সামান্য অসমান হইতে পারে বলিয়া তিনটি বাহুরই দৈর্ঘ্য আলাদা আলাদা ভাবে ক্যালিপার্শ দিয়া মাপ করিয়া যে তিনটি রাশি পাওয়া যাইবে, মনে কর তাহার গড় মান C cm. এখন যদি ঐ উত্তল পৃষ্ঠের ব্যাসার্ধ R cm. হয়, তবে—

$$R=\left(\frac{C^2}{6h}+\frac{h}{2}\right) \text{ সেন্টিমিটার হইবে।}$$

অবতল পৃষ্ঠের বেলায় প্রাথমিক পাঠ একই রকম হইবে। এইবার স্ফেরোমিটারকে অবতল পৃষ্ঠে বসাইয়া মধ্য স্ক্রুটি নীচের দিকে আস্তে আস্তে ঘুরাইতে হইবে এবং যন্ত্রটি ঠিক মোচড় খাওয়ার অবস্থায় আসিলে একই ভাবে দ্বিতীয় বা অন্তিম পাঠ নিতে হইবে। এই দুইটি পাঠের অন্তরফল মনে কর h cm. এই স্থলেও ব্যাসার্ধ R-এর সমীকরণ একই প্রকার (পরিশিষ্ট A দেখ)।

স্ফেরোমিটারের যান্ত্রিক ত্রুটি (Instrumental Error)—এই যন্ত্রটির বহুদিন ব্যবহারে দুই রকমের ত্রুটি দেখা যায়। প্রথমত চক্রাকার স্কেলটির সমতলতা থাকে না, ফলে যখন ঘুরান হয় তখন মূল স্কেলের দিকে লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে ঘূর্ণনের সঙ্গে সঙ্গে চক্রের পরিধি টাল খাইতেছে এবং মূল স্কেলের একটা দাগের কখন সামান্য উপরে কখনও সামান্য নীচে থাকিতেছে। এমতাবস্থায় মূল স্কেলের পাঠ নেওয়া সম্ভবপর নয়। এই রকম ত্রুটি যদি যন্ত্রে দেখা যায়, তাহা হইলে মিলিমিটার স্কেলের পাঠ বাদ দিয়া যে কোন পরীক্ষাতে চক্রাকার স্কেল প্রথম এবং দ্বিতীয় পাঠের মধ্যে কত ঘর ঘুরিল, সেই সংখ্যাকে লঘিষ্ঠ ধ্রুবক দ্বারা গুণ করিতে হইবে। যেমন ধরা যাউক যে একখানি কাঁচ ফলকের বেধ মাপিতে হইবে। প্রথমে যন্ত্রের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক বাহির কর। তৎপরে পাদফলকের উপর কাঁচ ফলকটি রাখিয়া স্ফেরোমিটার বসাও এবং মধ্য-স্ক্রুটি ঘুরাইয়া কাঁচ ফলকটির উপরিতলে ছোঁয়াও। এইবার চক্রাকার স্কেলের কত নম্বর দাগ মূল স্কেলের সংস্পর্শে আসিয়াছে দেখিয়া লও। এইবার কাঁচখণ্ডটি আস্তে সরাইয়া লইলে মধ্য স্ক্রুটির তলা একটু ফাঁকা হইয়া যাইবে। এখন খুব সতর্কতার সহিত আস্তে আস্তে চক্রাকার স্কেলটি ঘুরাইতে থাক এবং ঐ স্কেলের কত ঘর ঘুরিতেছে তাহার হিসাব রাখিতে থাক। যখন ঐ স্ক্রুটির তলার পাদপ্লেটকে ছুঁইলে যন্ত্রটি সামান্য মোচড়

খাইবে, তখন ঘর গোনা শেষ কর। মনে কর, দুইটি পূর্ণ পাক খাইয়া আরও 14 ঘর ঘুরিয়াছে। তাহা হইলে প্রথম ও দ্বিতীয় পাঠের মধ্যে চক্রাকার স্কেল 214 ঘর ঘুরিয়াছে। লঘিষ্ঠ ধ্রুবক 0·01 mm. হইলে ফলকটির বেদ 2·14 mm. হইবে।

দ্বিতীয়ত সাধারণ যন্ত্রে মূল স্কেলটির 0-দাগ মাঝে থাকে এবং উপরে ও নীচের দিকে স্কেলকে ক্রমাঙ্কিত করা হয়। যন্ত্রের নতুন অবস্থায় পাদপ্লেটের উপর যন্ত্রটিকে রাখিয়া মধ্য স্ক্রুটি ঘুরাইয়া ঐ প্লেট ছোঁয়াইলে মূল স্কেলের 0-দাগ এবং চক্রস্কেলের 0 দাগের মিল হইবে। কিছুদিন ব্যবহারের পর চক্রস্কেলের স্ক্রুর স্পর্শবিন্দুটি অল্পবিস্তর ভোঁতা হইয়া যায়, ফলে 0 – 0 দাগের মিল হয় না। ইহাকে স্ফেরোমিটারের আদি-বিভ্রান্তি (zero error) বলা হয়। এই আদি বিভ্রান্তিরপরিমাপ পাদপ্লেটের উপর রাখিয়া পাঠ করিলেই পাওয়া যাইবে। এবং এই বিভ্রান্তির মান অন্তিম পাঠ হইতে যোগ কি বিয়োগ হইবে তাহা নির্ভর করিবে কোন দিকে দ্বিতীয় বা অন্তিম পাঠ নেওয়া হইবে তাহার উপর।

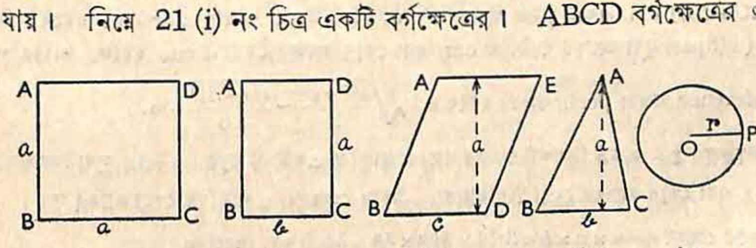
উদাহরণ—একটি স্ফেরোমিটারের তিনটি পদের গড় দূরত্ব 4 cm. যন্ত্রটি ত্রুটিহীন এবং উহার পিচ 1 **mm.** এবং চক্রাকার স্কেল 100 ভাগ করা আছে। একটি উত্তল পৃষ্ঠের উপর বসাইয়া দেখা গেল মূল স্কেলের পাঠ 1 mm. এবং চক্রাকার স্কেলের পাঠ 34 হইতেছে। ঐ উত্তল পৃষ্ঠের ব্যাসার্ধ বাহির কর।

উত্তর—প্রশ্ন অনুসারে ত্রিপাদের গড় দূরত্ব $= C = 4$ cm. যন্ত্রটি ত্রুটিহীন, সুতরাং পাদপ্লেটের পাঠ 0 উত্তল পৃষ্ঠের পাঠ $1\text{ mm.} + 34 \times {}^{\cdot}01\text{ mm.} = 0{\cdot}134\text{ cm.} = h$।

সুতরাং সমীকরণঅনুসারে, $R = \dfrac{C^2}{6h} + \dfrac{h}{2} = \left(\dfrac{4^2}{6 \times 0{\cdot}134} + \dfrac{0{\cdot}134}{2}\right) = 19{\cdot}967$ cm.

1.12. সমতল ক্ষেত্রফলের পরিমাপ (Measurement of Plane Area)—1·6 অনুচ্ছেদে লব্ধ এককের আলোচনাকালে বলা হইয়াছে যে **কোন সমতলে বা অসমতল ক্ষেত্রে কতটা স্থান আছে তাহাকে ঐ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল বলে।** ক্ষেত্রফলের মাত্রা (dimension) দৈর্ঘ্যের এককের দ্বিঘাতে প্রকাশ করিতে হয়, যেমন সি. জি. এস. পদ্ধতিতে বর্গ-সেন্টিমিটারে (sq. cm. অথবা cm^2) এবং এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে বর্গফুটে (sq. ft. অথবা ft^2)।

কতগুলি জ্যামিতিক সমতল চিত্রের ক্ষেত্রফল সরল নিয়মের দ্বারাই বাহির করা যায়। নিম্নে 21 (i) নং চিত্র একটি বর্গক্ষেত্রের। ABCD বর্গক্ষেত্রের প্রতিটি



চিত্র নং 21

বাহুই যদি a cm. দীর্ঘ হয়। তবে ক্ষেত্রফল a^2 বর্গসেন্টিমিটার হইবে। আর যদি F.P.S একক a ফুট হয়, তবে ক্ষেত্রফল a^2 sq. ft. হইবে। বাহুগুলির দৈর্ঘ্য রৈখিক স্কেল

দ্বারা মাপা যাইতে পারে অথবা ছোট বর্গক্ষেত্র হইলে ভার্নিয়ার ক্যালিপার্শও ব্যবহার করা যাইতে পারে। 21(ii) নং চিত্রে একটি আয়তক্ষেত্র দেখান হইতেছে যাহার BC এবং CD বাহুদ্বয়ের যথাক্রম দৈর্ঘ্য b এবং a। ইহার ক্ষেত্রফল যে এককে মাপা হইবে, তাহা বর্গ-একক এবং ইহার মান $a \times b$ হইবে। 21(iii)নং চিত্র একটি সমান্তরিকের (parallelogram) ভূমিরেখা BD এবং উচ্চতা যথাক্রমে c এবং a হইলে, ক্ষেত্রফল $c \times a$ হইবে। 21(iv)নং চিত্র একটি ত্রিভুজের। ভূমিরেখা BC এবং ভূমিরেখা হইতে শীর্ষবিন্দু Aর উচ্চতা যথাক্রমে b এবং a হইলে ক্ষেত্রফল $\frac{1}{2}ab$ হইবে। 21(v)নং চিত্র একটি বৃত্তের (circle)। ইহার ক্ষেত্রফল বাহির করিতে হইলে ক্যালিপার্শ দিয়া ব্যাসটি মাপিয়া লও। তাহার অর্ধেক হইবে ব্যাসার্ধ এবং মনে কর ইহার মান r। তাহা হইলে ইহার ক্ষেত্রফল πr^2 যেখান π (উচ্চারণ পাই) একটি ধ্রুবক। সাধারণভাবে এই ধ্রুবকটির মান $\frac{22}{7} = 3{\cdot}14\cdots$ হয়। আরও অনেক প্রকার জ্যামিতিক সমতল চিত্র আছে যেমন ট্রাপিজিয়াম যাহার ক্ষেত্রফল $= \frac{1}{2} \times$ সমান্তরাল বাহুদ্বয়ের যোগফল $\times$ ভূমিরেখা হইতে উচ্চতা। একটি অধিবৃত্তের ক্ষেত্রফল $= \pi \times$ অর্ধমুখ্য অক্ষের দৈর্ঘ্য $\times$ অর্ধগৌণ অক্ষের দৈর্ঘ্য ইত্যাদি।

মনে কর একটি বৃত্তের ক্ষেত্রফল পরিমাপ করিতে হইবে। বৃত্তের আকার বুঝিয়া সুবিধা অনুযায়ী মিটার স্কেল, সাধারণ ক্যালিপার্শ, ভার্নিয়ার ক্যালিপার্শ প্রভৃতি যে কোন যন্ত্রই ব্যবহার করা যাইতে পারে। তিন চারিটি ব্যাস টানিয়া তাহাদের প্রত্যেকের দৈর্ঘ্য পরিমাপ করিয়া তাহাদের গড় মান বাহির কর। ধরা যাউক গড় ব্যাস 8·52 cm. তাহা হইলে ব্যাসার্ধ হইবে 4·26 cm.

সুতরাং বৃত্তের ক্ষেত্রফল $= 3{\cdot}14 \times 4{\cdot}26^2$ sq. cm. $= 60{\cdot}12$ sq. cm. অথবা cm.^{2}

ক্ষেত্রফলের আবৃত সীমারেখার দৈর্ঘ্য—যদি কোন জ্যামিতিক চিত্রের সীমানা বরাবর বাহুগুলির দৈর্ঘ্যফল প্রয়োজন হয়, তবে প্রতিটি বাহুর দৈর্ঘ্য প্রয়োজন অনুসারে স্কেল বা ফিতা বা ভার্নিয়ার দ্বারা মাপিতে হইবে। ইহাদের যোগফল **সেন্টিমিটার** অথবা **ফুটে** প্রকাশ করিতে হইবে। যেমন বর্গক্ষেত্রের যে কোন বাহুর দৈর্ঘ্য a cm. হইলে, বাহুগুলির মোট দৈর্ঘ্যফল $4a$ cm. হইবে। একটি আয়তক্ষেত্রের $2(a+b)$ cm. একটি সমান্তরিকের বেলায় $2(BD+AB)$ cm. একটি ত্রিকোণের ক্ষেত্রে $(AB+AC+BC)$ cm. একটি বৃত্তের ব্যাসার্ধ r cm. হইলে উহার পরিধি $2\pi r$ cm. হইবে। একটি উপবৃত্তের (ellipse) মুখ্য অক্ষের দৈর্ঘ্য D cm. এবং গৌণ অক্ষের দৈর্ঘ্য d cm. হইলে, তাহার পরিধি (circumference অথবা perimeter) হইবে $\pi \sqrt{\frac{D^2+d^2}{2} - \frac{(D-d)^2}{8{\cdot}8}}$ cm.

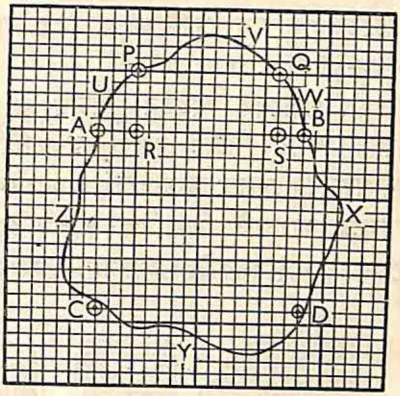
উদাহরণ ঃ—একটি ক্রিকেট খেলার মাঠের আকৃতি একটি উপবৃত্ত। উহার মুখ্য অক্ষের দৈর্ঘ্য 100 মিটার এবং গৌণ অক্ষের দৈর্ঘ্য 70 মিটার। উহার ক্ষেত্রফল ও পরিধির দৈর্ঘ্য বাহির কর।

উপবৃত্তের ক্ষেত্রফল $= \pi \times a \times b = 3{\cdot}14 \times \frac{100}{2} \times \frac{70}{2} = 5495$ sq. metres

উপবৃত্তের পরিধি $= \pi \sqrt{\frac{D^2+d^2}{2} - \frac{(D-d)^2}{8{\cdot}8}} = 3{\cdot}14 \sqrt{\frac{100^2+70^2}{2} - \frac{(100-70)^2}{8{\cdot}8}}$

$$= 3{\cdot}14\sqrt{7450 - 102{\cdot}27} = 3{\cdot}14\sqrt{7347{\cdot}73} = 3{\cdot}14 \times 85{\cdot}7 = 269\ 1 \text{ metres.}$$

অসম আকৃতির সমতল ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল নির্ণয় (Measurement of Irregular Plane Surfaces)—সমতল ক্ষেত্রে অবস্থিত অসম (Irregular) আকৃতির ক্ষেত্র হইলে, তাহার ক্ষেত্রফল ছক্ বা লেখ কাগজের সাহায্যে সাধারণত বাহির করা হয়। প্ল্যানিমিটার (Planimeter) নামক একটি যন্ত্র আছে যদ্বারা যে কোন আকৃতির ক্ষেত্রফল যন্ত্রের পাঠের দ্বারা বাহির করা যায়। আমরা প্রথম পদ্ধতির বিষয় আলোচনা করিব।



চিত্র নং 22

যে আকারের ক্ষেত্রফলটি জানিতে হইবে, সেইটি প্রথমে একটি লেখ কাগজের উপর নির্ভুলভাবে আঁকিতে হইবে (22 নং চিত্র)। লেখচিত্রের যতগুলি ক্ষুদ্রতম চৌকা ঘর এই চিত্রটির মধ্যে রহিয়াছে তাহা গুণিতে হইবে। এই গুণিবার সুবিধার জন্য ঐ অসম চিত্রটিকে যতগুলি সম্ভব বর্গক্ষেত্র, আয়তক্ষেত্র এবং ত্রিভুজে ভাগ করিতে হয়। যেমন ঐ চিত্রটিকে ABCD ও PQRS দুইটি আয়তক্ষেত্র। APR, SBQ, BXD, DYC এবং CZA এইগুলি অসমক্ষেত্র। এই সমস্ত ক্ষেত্রফলের যোগফলই ঐ আকৃতির ক্ষেত্রফল।

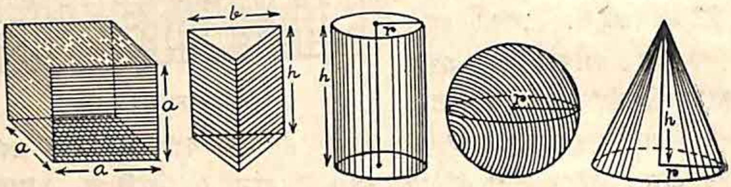
এখন PQRS এর ক্ষেত্রফল = 55 চৌকার ক্ষেত্রফল। ABCD এর ক্ষেত্রফল = 224 চৌকার ক্ষেত্রফল। এখন সীমানা বরাবর যখন চৌকার সংখ্যা গুণিতে হইবে তখন সীমারেখাটি যদি কোন চৌকার অর্ধেকের বেশী আবৃত করে তবে তাহাকে এক চৌকা ধরিয়া লও। আর যদি কোন স্থানে চৌকার অর্ধেকের কম আবৃত করে তবে তাহাকে গুণ্‌তির মধ্যে লইবে না। এই হিসাবে APR খণ্ডে 12টি চৌকা ঘর আছে। QSB তে 6টি। BXD তে 25টি। OYD তে 31টি এবং CZA তে 17টি। সুতরাং মোট চৌকার সংখ্যা দাঁড়াইল 370টি।

তৎপর একটি ক্ষুদ্রতম বর্গক্ষেত্র বা ছকের চৌকার ক্ষেত্রফল নির্ণয় কর। সাধারণত যে ছক্ কাগজ পাওয়া যায় তাহার এক একটি বাহু $\frac{1}{10}$ ইঞ্চি। সুতরাং ঐ চৌকার বর্গফল $\frac{1}{100}$ sq. inch. এই ছক্ কাগজের মাপে অসম আকৃতির ক্ষেত্রটি যদি 370টি ঘরের সমান হয়, তবে ঐ ক্ষেত্রটির আয়তন হইবে $373 \times {\cdot}01 = 3{\cdot}7$ বর্গইঞ্চি। আর একপ্রকার সূক্ষ্ম ছক্ কাগজ পাওয়া যায় যাহার এক একটি বাহু 1 mm. সুতরাং ছোট ঘরগুলির আয়তন $0{\cdot}1 \times 0{\cdot}1 = 0{\cdot}01$ বর্গসেন্টিমিটার। সেই কাগজে যদি আকৃতিটি 370 ঘর দখল করিয়া থাকে, তবে উহার ক্ষেত্রফল হইবে $370 \times 0{\cdot}01 = 3{\cdot}7$ sq. cm. এইভাবে যে কোন অসম আকৃতি আঁকিয়া লেখ চিত্রদ্বারা তাহার ক্ষেত্রফল বাহির করা যায়।

1.13. আয়তনের পরিমাপ (Measurement of Volume)—পূর্বেই বলা হইয়াছে যে, যে সব বস্তুর দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা আছে, তাহারা যতটা যায়গা জুড়িয়া রহিয়াছে, তাহাই সেই সব বস্তুর আয়তন। ইহাদিগকে **ত্রিমাত্রিক** বস্তু বলা হয়। যেহেতু আয়তন তিনটি দৈর্ঘ্যের গুণফল সুতরাং আয়তনের একক সি. জি. এস পদ্ধতিতে এক ঘন সেন্টিমিটার (c.c. বা cm^3) এবং এফ. পি. এস পদ্ধতিতে ইহা এক ঘন-ফুট (cu. ft বা ft^3).

তরল পদার্থের আয়তন লিটার বা মিলি-লিটারে প্রকাশ করা হয়। বায়বীয় পদার্থের ক্ষেত্রে লিটার অথবা ঘন-সেন্টিমিটারে আয়তন প্রকাশ করা হয়। কিন্তু কঠিন পদার্থের বেলায় আমরা উহার আয়তনকে c.c অথবা cu. ft. এই প্রকাশ করি।

নিম্নে কয়েকটি ত্রিমাত্রিক জ্যামিতিক চিত্র দেওয়া হইল। 23(*i*)নং চিত্র একটি ঘনকের। এই ঘনকটির আয়তন = দৈর্ঘ্য × প্রস্থ × উচ্চতা = $a \times a \times a = a^3$. ঘনকের



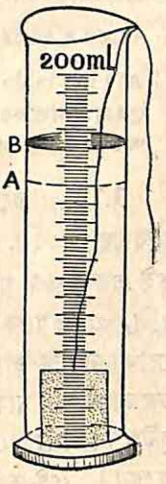
(i) (ii) (iii) (iv) (v)

চিত্র নং 23

যে কোন দিক সুবিধামত কোন স্কেল দিয়া মাপিলে যদি দৈর্ঘ্য a cm. হয়, তবে ঘনকের আয়তন a^3 cubic cm. হইবে। F. P. S. পদ্ধতিতেও আয়তন বাহির করা যায়, সে স্থলে ইহার একক cubic foot এ হইবে। একটি ক্লাশ ঘরের দৈর্ঘ্য যদি a হয়, প্রস্থ b হয় এবং উচ্চতা c হয়, তবে ঐ ঘরের বা parallelopiped-এর আয়তন $a \times b \times c$ হইবে। 23(ii) নং চিত্র একটি ত্রিকোণ পিরামিডের অথবা প্রিজমের, যাহার প্রস্থচ্ছেদ ত্রিকোণাকার এবং উচ্চতা h. ত্রিকোণের নিয়মানুসারে প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $\frac{1}{2}ab$. সুতরাং প্রিজমের আয়তন $\frac{1}{2}abh$. একটি খাড়া গোলমুখ চোঙের (Right circular cylinder) আয়তন = $\pi r^2 h$ [চিত্র নং 23(iii)]। একটি গোলকের ব্যাসার্ধ r হইলে, ইহার আয়তন = $\frac{4}{3}\pi r^3$ (চিত্র নং 23 iv)। একটি খাড়া গোলমুখ শঙ্কুর (Right circular Cone) আয়তন = $\frac{1}{3}$ × গোলভূমির ক্ষেত্রফল × উচ্চতা = $\frac{1}{3} \times \pi r^2 h$ [চিত্র নং 23(v)]। একটি চতুস্তলকের (Tetrahedron) যদি সব বাহুই সমান = a হয়, তবে তাহার আয়তন = $2a^3 \sqrt{2}/3$. এই সমস্ত আয়তনের একক ঘন-সেন্টিমিটার বা ঘনফুটে প্রকাশ করিতে হইবে।

যদি অসম কোন ত্রিমাত্রিক বস্তুর, যেমন এক টুকরা পাথরের আয়তন মাপিতে হয়, তবে একটি ঘন-সেন্টিমিটারে অংশাঙ্কিত ফাঁপা চোঙ ব্যবহার করিতে হয়। প্রথমে ঐ চোঙের মধ্যে আধাআধি পরিমাণ জল নিতে হইবে এবং জলের উপরিতলের পাঠ

(A) নিতে হইবে। তৎপর একটি সরু সুতা দিয়া পাথরখণ্ডকে বাঁধিয়া আস্তে আস্তে চোঙের মধ্যে ডুবাইয়া দিতে হইবে। পাথরটি জলে ডুবিলেই উহার আয়তন পরিমাণ জল সরাইয়া দিবে। ফলে জলের উপরিতল কিছুটা চোঙের মধ্যে উঠিয়া আসিবে। এইবার জলের উপরিতলের লেভেল (B) পাঠ কর (24নং চিত্র)। এই দুইটি পাঠের অন্তর ফল ঐ বস্তুটির আয়তনের সমান।



চিত্র নং 24

1.14. ত্রিমাত্রিক বস্তুর বহির্গাত্রের ক্ষেত্রফল ঃ (Surface Areas of Solid Figures)—একটি ক্ষেত্রফল যেমন সরল বা বক্ররেখা দ্বারা আবদ্ধ, ঠিক সেই রকম একটি ত্রিমাত্রিক বস্তু একটি ক্ষেত্রফলের দ্বারা আবদ্ধ অর্থাৎ প্রতিটি ত্রিমাত্রিক বস্তুরই বহির্গাত্রের একটি ক্ষেত্রফল আছে। **কঠিন বস্তুর আকার অনুসারে বহির্গাত্রের একটা নির্দিষ্ট ক্ষেত্রফল থাকে।** তরল ও গ্যাসীয় বস্তুর নিজস্ব কোন আকৃতি না থাকায় তাহাদের বহিরাবরণের কোন নির্দিষ্ট ক্ষেত্রফল নাই।

23 (i) নং চিত্রে যে ঘনকটি দেখিতেছ উহা ছয়টি বর্গক্ষেত্র দ্বারা আবদ্ধ। প্রতিটি বর্গক্ষেত্রের পরিমাণ a^2 sq. cm. হইলে ঘনকের বহির্গাত্রের ক্ষেত্রফল $6a^2$ sq. cm. হইবে। একটি প্যারালেলোপাইপেড যাহার তিনটি অসম বাহু a, b এবং c, তাহার বহিরাবরণের ক্ষেত্রফল $2(ab+bc+ca)$ হইবে। 23 (ii)নং চিত্রে ত্রিভুজের বাহুগুলি যদি b, c ও d হয় তবে যে তিনটি আয়ত-ক্ষেত্রের দ্বারা পিরামিডটি আবদ্ধ আছে তাহার ক্ষেত্রফলের যোগফল $h(b+c+d)$। উহার উপর এবং নীচের ত্রিকোণাকার ক্ষেত্রফল $2\times\frac{1}{2}ab=ab$। সুতরাং এই ত্রিকোণ পিরামিডের সামগ্রিক ক্ষেত্রফল $h(b+c+d)+ab$। 23 (iii)নং চিত্রে যে চোঙটি আছে তাহার ব্যাসার্ধ r এবং উচ্চতা h হইলে এই ঘেরাটপ্‌টির ক্ষেত্রফল $2\pi rh$। যদি চোঙটির উপর ও নীচের ঢাকনা দুইটি থাকে তবে এই দুইটির ক্ষেত্রফল $2\pi r^2$। সুতরাং আবদ্ধ চোঙের ক্ষেত্রফল $2\pi(rh+r^2)$। 23 (iv)নং চিত্রে যে গোলকটি আছে উহার ব্যাসার্ধ r হইলে উপরিস্থিত ক্ষেত্রফল $4\pi r^2$ হইবে। 23 (v)নং চিত্রে যে শঙ্কুটি আছে উহার ঘেরাটপ্‌টির ক্ষেত্রফল πrl যেখানে ভূমি হইতে চূড়া পর্যন্ত শঙ্কুর গা বাহিয়া দূরত্ব l। জ্যামিতিক হিসাবে $l^2=h^2+r^2$। সুতরাং ঘেরাটপের ক্ষেত্রফল $\pi r\sqrt{h^2+r^2}$। শঙ্কুর ভূমিতলের ক্ষেত্রফল πr^2। সুতরাং সম্পূর্ণ আবদ্ধ শঙ্কুর ক্ষেত্রফল $\pi r^2+\pi r\sqrt{h^2+r^2}=\pi r(r+\sqrt{h^2+r^2})$। যদি প্রতি ভূজের দৈর্ঘ্য a হয় তবে সুসম টেট্রাহেড্রনের ক্ষেত্রফল $4a^2\times\sqrt{3}$।

উদাহরণ :— একটি মোমের গোলককে একটি ঘনকে পরিণত করা হইল। প্রমাণ কর এই ঘনকটির বহির্গাত্রের ক্ষেত্রফল গোলকের বহিরাবণরের ক্ষেত্রফল হইতে বড়, যদিও আয়তন দুইটির সমান।

উত্তর :— মনে কর গোলকের ব্যাসার্ধ r, তাহা হইলে উহার বহিরাবরণের ক্ষেত্রফল $=4\pi r^2$ এবং

উহার আয়তন $\frac{4}{3}\pi r^3$. উহা হইতে যে ঘনকটি তৈয়ার হইল, তাহার যে কোন বাহু যদি l হয়, তবে ঘনকের আয়তন l^3.

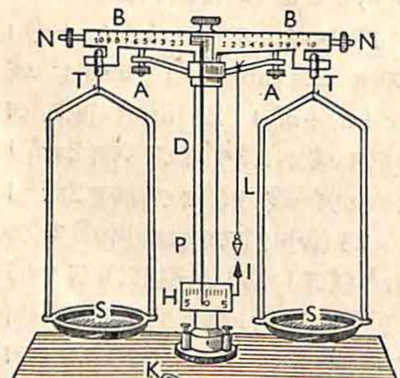
সুতরাং আয়তন সমান হওয়াতে, $\frac{4}{3}\pi r^3 = l^3 \quad \therefore \; l = (\frac{4}{3}\pi)^{\frac{1}{3}} r.$

ঘনকের বহির্গাত্রের ক্ষেত্রফল $= 6l^2 = 6 \times (\frac{4}{3}\pi)^{\frac{2}{3}} l^2 = 6 \times (\frac{4}{3})^{\frac{2}{3}} \times 3{\cdot}14^{\frac{2}{3}} \times l^2$

এখন log table এর সাহায্যে দেখান যায় যে $6 \times (\frac{4}{3})^{\frac{2}{3}} \times 3{\cdot}14^{\frac{2}{3}} = 15{\cdot}59$ এবং $4\pi = 12{\cdot}56$
সুতরাং গোলকের ক্ষেত্রফল $= 12{\cdot}56 r^2$ এবং ঘনকের ক্ষেত্রফল $= 15{\cdot}59 r^2$.
অতএব একই আয়তনের ঘনকের ক্ষেত্রফল গোলকের ক্ষেত্রফল হইতে বড়।

1.15. ভরের পরিমাপ (Measurement of Mass)—পূর্বেই বলা হইয়াছে সি. জি. এস পদ্ধতিতে ভরের একক গ্রাম এবং এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে এই একক এক পাউণ্ড। যদিও সাধারণভাবে তুলাদণ্ডের পরিমাপকে আমরা ওজন বলি, প্রকৃতপক্ষে এই যন্ত্রদ্বারা আমরা বস্তুর **ভরের** পরিমাপ করি। দাঁড়িপাল্লায় দোকানে কি-ভাবে বস্তুর ভরের পরিমাপ হয়, তাহা তোমরা সকলেই দেখিয়াছ। সূক্ষ্মভাবে ভর মাপিবার জন্য পরীক্ষাগারে যে তুলা দণ্ড ব্যবহৃত হয়, তাহা 1762 খ্রীষ্টাব্দে বৃটিশ বিজ্ঞানী যোসেফ ব্ল্যাক (জন্ম 1728—মৃত্যু 1799 খ্রীষ্টাব্দ) প্রথম তৈয়ার করেন। এই তুলার বর্ণনা নিম্নে দেওয়া হইল।

(i) **তুলাদণ্ড (Balance Beam)**—ইহা একটি চ্যাপ্টা ও লম্বা ধাতুনির্মিত দণ্ড (BB) এবং ইহার ঠিক মাঝখানে একটি ইস্পাত অথবা প্রস্তর নির্মিত ক্ষুরধার ত্রিভুজাকৃতি প্রিজম খণ্ড শক্তভাবে সংলগ্ন থাকে। ইহাকে অ্যাগেট্ (Agate) বলে এবং ইহার একটি ধার একটি অ্যাগেট প্লেটের (R) উপর বসান আছে। এই অ্যাগেট প্লেটটি একটি উল্লম্ব দণ্ডের (P) মাথার সঙ্গে আটকান আছে। এই দণ্ডটি একটি ফাঁপা স্তম্ভের (D) ভিতরে রহিয়াছে। এই দণ্ডটি একটি চাবিদ্বারা (K) সামান্য উঠান-নামান যায়। যখন নামান থাকে তখন অনুভূমিক দণ্ড (BB) দুইটি স্ক্রুর (AA) উপরে অবস্থিত থাকে। যখন চাবি দ্বারা উল্লম্ব দণ্ডটিকে তোলা হয়, তখন BB দণ্ডটি স্ক্রুর সামান্য উপরে উঠিয়া যায় এবং ত্রিভুজাকৃতি অ্যাগেটকে আলম্ব (Fulcrum) করিয়া দোল খাইতে থাকে। তুলাদণ্ডের দুইপ্রান্তে দুইটি খাঁজকাটা সমতল প্রস্তরখণ্ড আটকান থাকে।



চিত্র নং 25

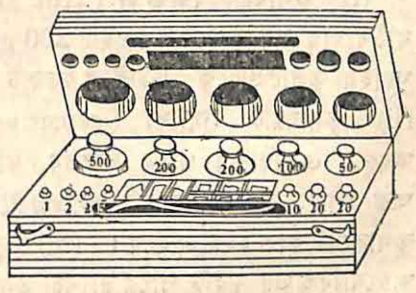
(ii) **ষ্টীরাপ (Stirrup)**—তুলাদণ্ডের দুই প্রান্তে পাল্লা ঝুলাইবার জন্য দুইটি ষ্টীরাপ (TT) আছে।

(iii) **পাল্লা** (Scale Pan)—দুইটি সমান ওজনের পাত্র (SS) হুঁরাপের দ্বারা দুই প্রান্ত হইতে ঝুলান থাকে। স্তম্ভের ভিতরে দণ্ড উঠাইলে পাল্লা দুইটি সামান্য দোল খাইতে থাকে। সাধারণত ডানদিকের পাল্লায় বাটখারা ও বামদিকের পাল্লায় পরিমেয় বস্তু রাখা হয়। (iv) **সূচক** (Pointer)—ইহা একটি ধাতুনির্মিত সরু কাঁটা (P) তুলার অনুভূমিক দণ্ডের ঠিক মাঝখানে লম্বভাবে আবদ্ধ। যখন তুলাদণ্ড দোল খায় সূচকটির প্রান্ত একটি স্কেলের (H) গা ঘেঁষিয়া দোলে। তুলাদণ্ডটি স্থির থাকিলে সূচকটির প্রান্ত স্কেলের শূন্য চিহ্ন দাগের সহিত মিলিয়া থাকে।

(v) **স্ক্রু-নাট** (Screw Nut).—তুলাদণ্ডের দুইপ্রান্তে দুইটি স্ক্রু-নাট (NN) থাকে। পাল্লা দুইটি খালি অবস্থায় চাবি ঘুরাইয়া অনুভূমিক দণ্ডটি উপরে তুলিলে যদি দেখা যায় যে সূচকটি দোল খাইবার সময় স্কেলের 0 দাগের দুই ধারে সম দূরে দূরে যাইতেছে না তখন নাট দুইটি ঘুরাইয়া সমদোল অবস্থায় আনিতে হয়। (vi) **ওলন দড়ি** (Plumb Line)—প্রত্যেক তুলাদণ্ডের সহিত একটি ওলনদড়ি (L) থাকে। তুলাদণ্ডের পাটাতনের তলায় যে তিনটি স্ক্রু (CC) আছে তদ্বারা D দণ্ডটিকে উল্লম্বভাবে রাখা যায়। ঐ স্ক্রুগুলি ঘুরাইয়া ওলনের অগ্রভাগকে পিন I এর ঠিক উপরে আনা হয়, তখন ঐ দণ্ডটি ঠিক উল্লম্ব হয়।

ধূলা-ময়লা হইতে রক্ষা করিবার জন্য এই তুলাদণ্ডটিকে একটি কাঁচের বাক্সের মধ্যে রাখা হয়। এই বাক্সের সামনে একটি ডালা আছে এবং এই ডালাটি খুলিয়া যন্ত্রটিকে প্রাথমিক ব্যবহার উপযোগী করিয়া লইতে হয়।

ওজনের বাক্স (Weight Box)—কোন বস্তুর ওজনের পরিমাপ করিবার জন্য একটি ছোট বাক্সের মধ্যে কতগুলি নির্দিষ্ট ওজনের বাটখারা পর পর সাজান থাকে (26 নং চিত্র)। এই বাটখারাগুলির **গ্রামে** ওজন সাধারণত 100, 50, 20, 20, 10, 5, 2, 2, 1, এবং **মিলিগ্রামে** 500, 200, 200, 100, 50, 20, 20, 10, থাকে। ইহা দ্বারা 200 গ্রাম পর্যন্ত ওজন করা সম্ভব এবং নিম্নদিকে 10 মিলি-গ্রাম অর্থাৎ 0·01 গ্রাম পর্যন্ত ওজন করা যায়। ইহা ছাড়াও ঐ বাক্সে U অক্ষরের ন্যায় একটি 5 বা 10 মিলিগ্রামের তার থাকে। ইহাকে **রোহী (Rider)** বলে।



চিত্র নং 26

রোহীর ব্যবহার—কোন বস্তুর ওজন এক গ্রামের হাজার বা দশহাজার ভাগের একভাগ পর্যন্ত পরিমাপ করিতে হইলে এই রোহীর ব্যবহার করিতে হয়। তুলাদণ্ডের

উপরিভাগে 100 ভাগে ভাগ করা একটি স্কেল অঙ্কিত থাকে। এই স্কেলটির উপর রোহীটিকে বসাইয়া সূক্ষ্ম ওজন নেওয়া যায়।

1.16. ওজন করিবার সাধারণ পদ্ধতি (Ordinary Method of Weighing)—নিম্ন-বর্ণিত বিভিন্ন ভাবে আমরা একটি বস্তুর ওজন তুলা যন্ত্রদ্বারা বাহির করিতে পারি। মনে রাখিতে হইবে যে যদিও সাধারণভাবে তুলার সাহায্যে আমরা বস্তুর ওজনের কথা বলি, কিন্তু প্রকৃতপক্ষে **বাটখারার ভরের সহিত তুলনামূলক ভাবে আমরা বস্তুর ভরের পরিমাপ করি**। এই তুলাযন্ত্রে বস্তুর ওজন বা ভার নির্ণয় করা সম্ভব নয়।

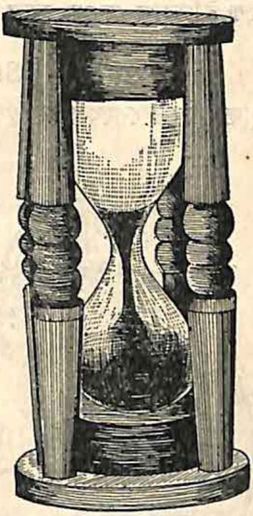
যে বস্তুর ভর বাহির করিতে হইবে তাহাকে বাম তুলাপাত্রে রাখ। ওজনের বাক্স হইতে উহার মধ্যস্থিত একটি চিমটার (forceps) সাহায্যে আন্দাজমত একটি বাটখারা ডান তুলাপাত্রে রাখ। এখন **আস্তে** চাবিটি ঘুরাইয়া তুলাদণ্ডটি তোল এবং দেখ কোন্ তুলাপাত্রটি আগে উঠিতেছে। যেটি আগে উঠিবে সেইটিই হাল্কা বেশী। যদি বাটখারাটি বেশী ভারী দেখায়, তবে সেইটিকে পুনরায় বাক্সে রাখিয়া তদপেক্ষা ছোট বাটখারাটি চিমটা দিয়া তুলাপাত্রে রাখিয়া আবার দণ্ডটি তুলিয়া দেখ কোন্‌টি বেশী ভারী। এইভাবে পরীক্ষা করিতে করিতে ডান তুলাপাত্রে এমন কতকগুলি ছোটবড় বাটখারার সমাবেশ হইবে যখন তুলাদণ্ডটি তুলিলে দেখিবে যে কাঁটাটি স্কেলের উপর 0 দাগের দুইদিকে **সমভাবে দোল খাইতেছে**। সেই অবস্থায় ডান তুলাপাত্রে রক্ষিত বাটখারার মোট ভর ঐ বস্তুটির ভরের সমান।

ভাল তুলার আবশ্যকীয় ধর্ম (Requisites of a Good Balance)—নিম্নলিখিত গুণ বা ধর্মগুলি থাকিলে তুলাযন্ত্রকে সূক্ষ্ম ও সঠিক বলা যাইতে পারে :—

(i) তুলাযন্ত্রটি **নির্ভুল** (true) হওয়া দরকার। ইহার অর্থ এই যে দুইটি সমান বাটখারার ভর (মনে কর দুইটি 200 gm. 200 gm) দুইটি তুলাপাত্রে রাখিয়া চাবি ঘুরাইয়া তুলাদণ্ডটিকে উঠাইলে সূচকটি দাগের দুইদিকে সমদোল খাইতে থাকিবে। (ii) তুলাযন্ত্রটি **সুবেদী** (sensitive) হওয়ার প্রয়োজন অর্থাৎ তুলার নির্ভুল অবস্থায় একদিকের পাত্রে ক্ষুদ্রতম বাটখারার ভর 10 মিলিগ্রাম রাখিয়া এবং অন্য পাত্র খালি রাখিয়া যদি তুলাদণ্ডটিকে উঠান যায়, তবে এই সামান্যতম ভরেও তুলাদণ্ডটি কাত হইয়া যাইবে। (iii) তুলাদণ্ডটি **দৃঢ়** (rigid) হইবে অর্থাৎ সর্বাধিক অনুমোদিত ভর দুইটি পাত্রে রাখিয়া তুলাদণ্ডটি উঠাইলে ঐ দণ্ডটি উহাদের ভারে কোন বাঁক খাইবে না। (iv) তুলাদণ্ডটি **প্রতিষ্ঠ** (stable) হওয়া দরকার অর্থাৎ একবার সূচকটি দোল খাইতে থাকিলে অল্প সময়ের মধ্যেই O দাগে আসিয়া স্থির হইয়া যাইবে।

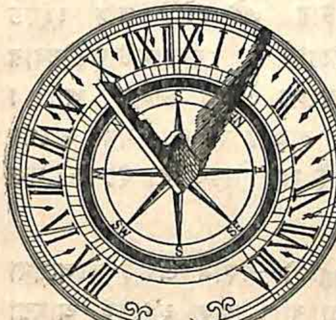
একথাটি মনে রাখা দরকার যে **একটি তুলাযন্ত্র যতই সুবেদী হইবে তাহার প্রতিষ্ঠত্ব ততই কম হইবে**। তুলার বিভিন্ন উপায়ে ভর মাপিবার তত্ত্ব চতুর্থ পরিচ্ছেদে দেওয়া হইয়াছে।

1.17. সময়ের পরিমাপ (Measurement of Time)—সময়ের একক যে এক সেকেণ্ড তাহা পূর্বেই বলা হইয়াছে। অতি প্রাচীনকালে যে যন্ত্রদ্বারা সময়ের একটা মোটামুটি পরিমাপ করা হইত তাহার নাম সূর্য-চাকতি (Sun Dial) বা সূর্য-ঘড়ি। একটি অনুভূমিক চাকতির উপর 1 হইতে 12 পর্যন্ত লেখা আছে। ঐ চাকতির উপর উল্লম্ব ভাবে প্রায় একটি ত্রিকোণাকার কাঠ বা ধাতব পাত আটকান আছে (চিত্র নং 28)। দিনের বেলায় সূর্যের আলো ঐ পাতটির উপর পড়িলে একটি লম্বা ছায়া ঐ চাকতিটির উপর পড়ে। বেলা বাড়িবার সঙ্গে সঙ্গে সূর্য আপাতদৃষ্টিতে আকাশপথ অতিক্রম করিতে থাকে এবং ঐ পাতটির ছায়াও চাকতির উপর ঘুরিতে থাকে। এই পদ্ধতিতেই দিনের বেলা ঘণ্টা নির্ণীত হইত। কিন্তু এই সূর্যঘড়িতে রাত্রে অথবা মেঘলা দিনে সময় জানা সম্ভব হইত না।



চিত্র নং 27

তৎপরবর্তী যুগে জল-ঘড়ি এবং বালুকাঘড়ির প্রচলন হইল। তলদেশে ছিদ্রযুক্ত একটি চোঙাকার পাত্র জলপূর্ণ করিয়া ঝুলাইয়া রাখা হইত। ছিদ্র দিয়া ফোঁটা ফোঁটা জল পড়িয়া নির্দিষ্ট সময়ে পাত্রটি খালি হইয়া যাইত। ঐ চোঙটি ক্রমাঙ্কিত করিয়া এক মিনিট সময় পর্যন্ত পরিমাপ সম্ভব হইত। বালুকাঘড়ি 27 নং চিত্রে দেখান হইল। দুইটি কাঁচের পাত্র একটি সরু ছিদ্র দ্বারা সংযুক্ত এবং পরিমাপমত বালুকা নীচের পাত্রাধারে রাখা আছে। হঠাৎ উল্টাইয়া দিলে একটা নির্দিষ্ট সময়ে উপরের পাত্র হইতে সরু ছিদ্র দিয়া গলিয়া সমস্ত বালু নীচের পাত্রে পড়িয়া যায়। এই এক মিনিট সময়কালের বালুকাঘড়ি এখনও কোন কোন হাসপাতালের সেবিকারা হৃদ্‌পিণ্ডের অথবা নাড়ীর স্পন্দন গণনা করিতে ব্যবহার করেন।

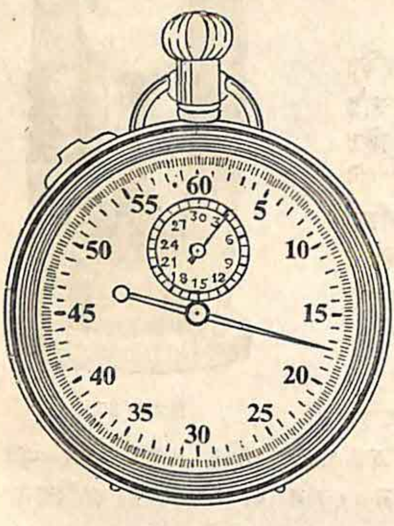


চিত্রঃনং28

ঘড়ি—আধুনিক কালে সময় নির্ণয় করিবার জন্য ঘড়ি ব্যবহার করা হয়। দোলক ঘড়ির তাত্ত্বিক আবিষ্কারক ইতালীয় বিজ্ঞানী গ্যালিলিও (জন্ম 1564—মৃত্যু 1642 সাল) 1583 খৃষ্টাব্দে তিনি লক্ষ্য করিলেন যে বিখ্যাত পিসা সহরের হেলান গম্বুজ হইতে চেনদ্বারা ঝোলান যে আলোক পিঞ্জরটি রহিয়াছে তাহা যখন বাতাসে দোল খাইতে থাকে, তাহার দোলনকাল নির্দিষ্ট। এই দোলনকালের নির্দিষ্টতা

তিনি তাহার হাতের নাড়ীর স্পন্দন গুণিয়া ঠিক করিয়াছিলেন। ইহা হইতেই সরল দোলক ও তাহার দোলনের নিয়মাবলীর সূত্রপাত, যাহা তোমরা মাধ্যমিক স্তরে পড়িয়াছ। ইহার পর, বিজ্ঞানী ক্রিশ্চিয়ান হাইগেন্স (জন্ম 1629—মৃত্যু 1693 সাল) 1656 খৃষ্টাব্দে প্রথম দোলক ঘড়ি আবিষ্কার করেন। দোলক ঘড়ি তোমরা সকলেই দেখিয়াছ। হাতঘড়ি বা পকেট ঘড়ির কাঁটা চালনা করে একটি সূক্ষ্ম কয়েক পাক দেওয়া স্প্রীং (Hair Spring)। এই স্প্রীং-ওয়ালা ঘড়ির আবিষ্কার করেন বিজ্ঞানী রবার্ট হুক (জন্ম 1635—মৃত্যু 1703 সাল) 1660 খৃষ্টাব্দে। বিভিন্ন ঘড়ির জন্ম ইতিহাস দেওয়া হইল।

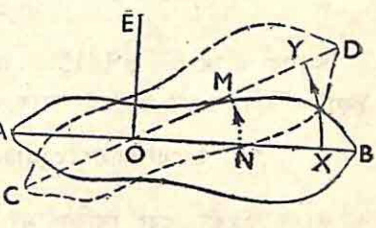
স্টপ্-ওয়াচ্ (**Stop-watch**)—দোলক ঘড়িতে ঘণ্টা-মিনিটের এবং হাতঘড়িতে সেকেণ্ড পর্যন্ত পরিমাপ করা যায়। কিন্তু কোন কোন ঘটনাকাল এক সেকেণ্ড হইতেও কম সময় পর্যন্ত পরিমাপ করিতে হয়, যেমন দৌড় বা সাঁতার প্রতিযোগিতা ইত্যাদি। এই সব কাজের জন্য আমরা স্টপ-ওয়াচ্ ব্যবহার করি (29নং চিত্র)। ঘড়ির বড় চাকতিতে যে ছোট ঘরগুলির দাগ কাটা আছে তাহা এক এক সেকেণ্ড ।এই ছোট ঘরগুলি আবার 5 অথবা 10 ভাগে বিভক্ত আছে। যদি 10 ভাগ হয় তবে ক্ষুদ্রতম ঘরগুলি সেকেণ্ডের দশ ভাগের এক ভাগ। ঘড়ির মাথায় যে গোল বোতামটি রহিয়াছে সেইটি একবার টিপিয়া দিলে ঘড়ির বড় কাঁটাটি সেই মূহূর্ত হইতে চলিতে আরম্ভ করে। দ্বিতীয়বার বোতামটি টিপিলে তৎক্ষণাৎ ঘড়ির কাঁটাটি স্থির হইয়া যায়। কাঁটার এই দুইটি পাঠ হইতে সময়কাল পরিমাপ করা হয়, যেমন 22·3 সেকেণ্ড ইত্যাদি। বোতামটি তৃতীয়বার টিপিলে বড় কাঁটাটি আবার 0-দাগে অর্থাৎ 60 দাগের উপরে চলিয়া আসে। আধুনিক বিজ্ঞানে কোন কোন পরীক্ষায় সেকেণ্ডের হাজার বা দশ লক্ষ ভাগের একভাগ পর্যন্ত পরিমাপ করার প্রয়োজন হয়। এই যন্ত্র বিদ্যুৎবাহী ইলেকট্রনিক যন্ত্র, যাহা ডিগ্রী ক্লাশে পড়িবার সুযোগ পাইবে।



চিত্র নং 29

1.18. কোণের একক ; (Unit of Angle)—কোন একটি সরলরেখা যখন কোন অক্ষ-বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া কিছুটা ঘুরিয়া যায়, তাহা হইতেই আমরা কোণের (angle) ধারণা করি। মনে কর একটু বস্তুর উপর একটি সরল-রেখা টানা হইল। বস্তুটি সরলরেখার O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া কিছুটা ঘুরিল এবং

ঐ সরলরেখাটি CD স্থান অধিকার করিল। এমতাবস্থায় একটি কোণ BOD তৈয়ার হইল। বস্তুটি যদি এতটা ঘুরিত যে OD রেখা OB রেখার উপর একটি লম্ব হইয়া OE স্থান দখল করিত, তাহা হইলে $\angle BOE = 90°$ হইত। চাঁদা ব্যবহার করিয়া ডিগ্রীতে যে-কোন কোণের পরিমাপ করা যায়, ইহা তোমাদের জানা আছে। ডিগ্রীর গুণিতক এবং গুণিতাংশ নিম্নরূপ,—



চিত্র নং 30

1 সমকোণ (Right Angle) = 90° ডিগ্রী (degrees)
1° ডিগ্রী = 60′ মিনিট (minutes)
1′ মিনিট = 60″ সেকেণ্ড (seconds)

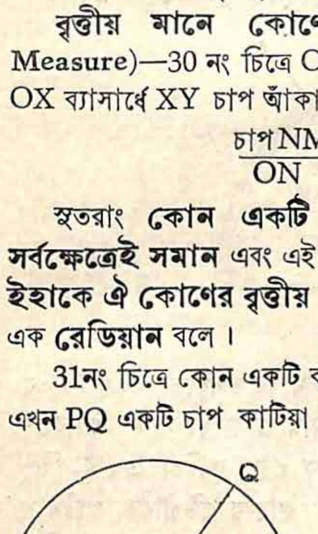
বস্তুটি একবার পূর্ণ ঘুরিলে রেখা দুইটির কোণ 4 সমকোণ অথবা 360° হইবে।

বৃত্তীয় মানে কোণের একক (Unit of Angle in Circular Measure)—30 নং চিত্রে O-বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া ON ব্যাসার্ধে NM চাপ এবং OX ব্যাসার্ধে XY চাপ আঁকা হইল। জ্যামিতিক নিয়ম অনুসারে দেখা যায়,

$$\frac{\text{চাপ}\,NM}{ON} = \frac{\text{চাপ}\ XY}{OX}$$

সুতরাং **কোন একটি কোণের চাপ এবং ব্যাসার্ধের অনুপাত সর্বক্ষেত্রেই সমান** এবং এই অনুপাতের দ্বারাও একটি কোণের পরিমাপ করা যায়। **ইহাকে ঐ কোণের বৃত্তীয় মান বলা হয়।** এই পদ্ধতিতে কোণের একককে এক **রেডিয়ান** বলে।

31নং চিত্রে কোন একটি ব্যাসার্ধ OP লইয়া এক টি বৃত্ত PQR রচনা করা হইল। এখন PQ একটি চাপ কাটিয়া লওয়া হইল, যাহার দৈর্ঘ্য ব্যাসার্ধ OP-র সমান। এই চাপের প্রান্তীয় বিন্দু দুইটিকে বৃত্তের কেন্দ্র O-তে সরল রেখা দ্বারা যোগ করিলে যে কোণ POQ সৃষ্ট হয় তাহাকে এক রেডিয়ান্ বলে। সুতরাং PQ/OP = এক রেডিয়ান। উপরে একটি c-চিহ্ন দ্বারা রেডিয়ানের প্রতীক প্রকাশ করা হয়।



চিত্র নং 31

এই এককের পরিমাপে চিত্র 30-এ কোণ BOD = চাপ MN/NO অথবা চাপ XY/XO. যেহেতু চাপের দৈর্ঘ্য এবং ব্যাসার্ধের দৈর্ঘ্য দুইটিই সেন্টিমিটার অথবা ফুটে মাপা হয় সুতরাং **রেডিয়ান একক একটি সংখ্যাবাচক।** তাহা হইলে একটি বৃত্তের পরিধির কোণ উহার কেন্দ্রে রেডিয়ান এককে কত হইবে ? ইহার সরল উত্তরে আমরা জানি যে, একটি বৃত্তের পরিধি = $2\pi \times$ ব্যাসার্ধ।

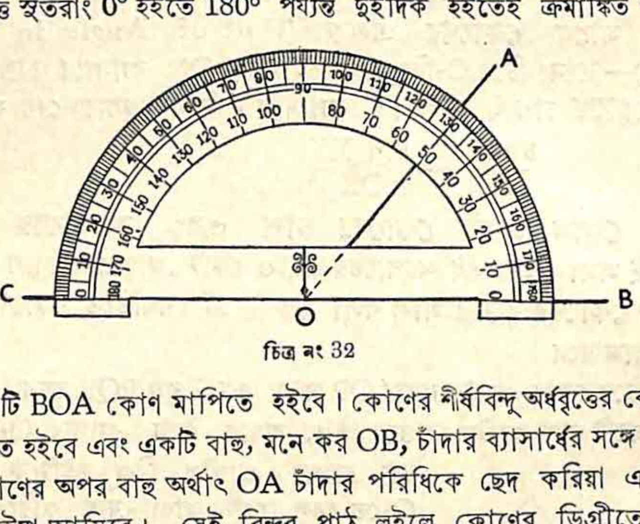
$$\text{সুতরাং } \frac{\text{বৃত্তের পরিধির পূর্ণ-চাপ}}{\text{ব্যাসার্ধ}} = 2\pi \text{ রেডিয়ান} = 2\pi^c$$

আমরা জানি $\pi = 3{\cdot}1415$; একটি ব্যাসার্ধ একটি বৃত্তকে পূর্ণ একবার ঘুরিলে একটি পরিধি তৈয়ার হয় এবং ব্যাসার্ধটি 360° কোণ ঘোরে। সুতরাং $2\pi^c = 360^\circ$.

$$\therefore \; 1 \text{ রেডিয়ান (radian)} = \frac{360^\circ}{2\pi} = \frac{360^\circ}{6{\cdot}2830} = 57^\circ 17' 44{\cdot}8''$$

ইহাই ডিগ্রী এবং রেডিয়ানের সহিত সম্বন্ধ। মনে রাখিবে $1^\circ = 0{\cdot}0175$ **radian**.

কোণ পরিমাপক যন্ত্র (**Angle Measuring Instruments**)—সাধারণভাবে কোণ পরিমাপ করিতে হইলে চাঁদার (Protractor) সাহায্য লইতে হয়। তোমরা সকলেই জান যে ইহা একটি ধাতু বা প্লাস্টিক নির্মিত অর্ধবৃত্ত আকারের। যেহেতু অর্ধবৃত্ত সুতরাং 0° হইতে 180° পর্যন্ত দুইদিক হইতেই ক্রমাঙ্কিত রহিয়াছে।

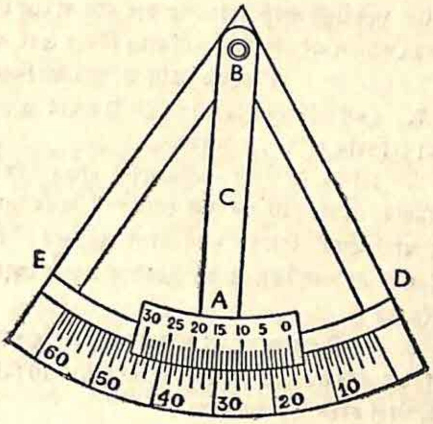


চিত্র নং 32

মনে কর একটি BOA কোণ মাপিতে হইবে। কোণের শীর্ষবিন্দু অর্ধবৃত্তের কেন্দ্র O-এর সঙ্গে মিলাইতে হইবে এবং একটি বাহু, মনে কর OB, চাঁদার ব্যাসার্ধের সঙ্গে মিশাইতে হইবে। কোণের অপর বাহু অর্থাৎ OA চাঁদার পরিধিকে ছেদ করিয়া একটি বিন্দু দিয়া বাহির হইয়া আসিবে। সেই বিন্দুর পাঠ লইলে কোণের ডিগ্রীতে পরিমাপ হইল। কোণের ভূমি বাহু যেদিকে থাকিবে সেই দিক হইতে চাঁদার 0-দাগ ধরিয়া পাঠ লইতে হইবে। 32 নং চিত্রে BOA কোণের পরিমাপ 51° দেখা যাইতেছে। দৃষ্টি অনুমান দ্বারা $\frac{1}{2}$ অথবা $\frac{1}{3}$ degree পর্যন্ত আমরা পাঠ করিতে পারি।

কৌণিক ভার্নিয়ার (**Angular Vernier**)—এই যন্ত্রে ধাতব চাকৃতির উপর একটি বৃত্তাকার মূল স্কেল থাকে। এই স্কেলের ক্ষুদ্রতম ভাগ $\frac{1}{2}$ বা $\frac{1}{3}$ ডিগ্রীতে ভাগ করা হয়। এই মূল স্কেলের একটি অংশ ED 33নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। এই স্কেলের ঠিক পাশ দিয়া আর একটি ছোট স্কেল A সমকেন্দ্রিকভাবে ঘুরিতে পারে এবং ইহাকে কৌণিক ভার্নিয়ার স্কেল বলা হয়। সুতরাং মূল স্কেলের যে কোন স্থানে ভার্নিয়ার স্কেলকে সরাইয়া আনা যায়।

এই যন্ত্র ব্যবহার করিবার পূর্বেই ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক (vernier constant) নির্ণয় করিতে হইবে। ইহা অনেকটা ভার্নিয়ার ক্যালিপার্সের অনুরূপ। প্রথমত ভার্নিয়ার স্কেলের 0 দাগ মূল স্কেলের কোন ডিগ্রী দাগের সঙ্গে মিলাইতে হইবে এবং ভার্নিয়ারের সর্বসমেত কতগুলি ঘর আছে তাহার পাঠ লইতে হইবে। 33নং চিত্রে ভার্নিয়ারের 30ঘর দেখা যাইতেছে। এইবার এই 30 ঘর মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম কত ঘরের সমান তাহা দেখিয়া লইতে হইবে। সাধারণত এই ক্ষুদ্রতম ঘরের সংখ্যা **এক কম হইবে** অর্থাৎ 29 ঘরের সমান হইবে। মনে কর ভার্নিয়ারের পরস্পর দাগের দূরত্ব $=v$ এবং মূল স্কেলের ন্যূনতম ঘরের মান m.



চিত্র নং 33

সুতরাং 30 ভার্নিয়ার স্কেলের ঘরের দৈর্ঘ্য 29 মূল স্কেলের ন্যূনতম ঘরের দৈর্ঘ্য

1 ,, ,, ,, ,, $\frac{29}{30}$,, ,, ,, ,,

অতএব $1m-1v=1m-\frac{29}{30}m=\frac{1}{30}m$

এখন ন্যূনতম মূল স্কেলের মান m যদি $\frac{1}{2}$ ডিগ্রী হয়,

তবে $1m-1v=\frac{1}{30}m=\frac{1}{30}\times\frac{1}{2}=\frac{1}{60}$ ডিগ্রী $=1$ মিনিট $=$ ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক

এই মৌলিক ভার্নিয়ারের সাহায্যে কোন একটি কোণের ডিগ্রী ও মিনিট পর্যন্ত সূক্ষ্ম পরিমাপ করা যায়। এমন কৌণিক ভার্নিয়ার আছে যদ্বারা 10 সেকেণ্ড কোণ (10″) পর্যন্ত মাপ করা সম্ভবপর। এই সব কৌণিক ভার্নিয়ার স্পেক্‌ট্রোমিটার, থিওডোলাইট সেক্সট্যান্ট প্রভৃতি যন্ত্রে ব্যবহৃত হয়। জ্যোতির্বিদগণ গ্রহ তারকার সাময়িক অবস্থিতি এবং তাহাদের কক্ষপথ নির্ণয়ের জন্য সর্বদাই এই কৌণিক ভার্নিয়ার ব্যবহার করেন।

প্রশ্নাবলী

1. সাধারণ ইন্দ্রিয়-লব্ধ অনুভবে বস্তু বাস্তবের ধর্ম সম্বন্ধে আমাদের সঠিক জ্ঞান জন্মেনা, এমনকি কখনও কখনও ভুল ধারণাও জন্মায়, তাহার কয়েকটি দৃষ্টান্ত দাও।

2. মৌলিক একক কাহাকে বলে? বিভিন্ন আন্তর্জাতিক মৌলিক এককের সংজ্ঞা দাও। মৌলিক এবং লব্ধ এককের পার্থক্য বুঝাও।

3. নিম্নলিখিত এককগুলির পারস্পরিক সম্বন্ধ প্রকাশ কর :—(i) সেন্টিমিটার ও ফুট, (ii) গ্রাম ও পাউণ্ড, (iii) সেকেণ্ড ও গড় সৌরদিন।

4. ভারতে সর্বোচ্চ পর্বত নন্দাদেবীর শীর্ষের উচ্চতা 25,660 ফুট। এই উচ্চতা কিলোমিটারে প্রকাশ কর।

[উত্তর : 7·8213 কিলোমিটার]

5. যদি 40 সের 82·2 পাউণ্ড ভরের সমান হয়, তবে 1 সের হইতে 1 কিলোগ্রাম কত বেশী হইবে? উত্তর গ্রামে প্রকাশ কর। (B. S. F.—1963) [উত্তর : 6·78 গ্রাম]

6. পৃথিবীকে একটি গোলকের ন্যায় মনে করিলে ইহার ব্যাস যদি 7900 মাইল হয়, তবে ইহার তলের ক্ষেত্রফল এবং আয়তন বর্গকিলো মিটার এবং ঘনকিলো-মিটারে বাহির কর।
[উত্তর : 507887225 বর্গ কিলোমিটার ; 604274596755·6 ঘন কিলোমিটার]

7. একশত মিটার দূরে 50 সেন্টিমিটার দীর্ঘ একটি চাপ দ্রষ্টার চোখে যে কোণ প্রক্ষেপ করিবে তাহা রেডিয়ান ও ডিগ্রীতে বাহির কর। [উত্তর : ·005 রেডিয়ান; কৌণিক 17′]

8. রৈখিক ভার্নিয়ার যন্ত্রটির বর্ণনা দাও। উহার লঘিষ্ঠ ধ্রুবক কিভাবে জানা যায়? একটি ভার্নিয়ার স্কেলের 10 ঘর মূল স্কেলের 9 ঘরের সমান। মূল স্কেলের ন্যূনতম ঘর 0·5 mm. এই যন্ত্র দ্বারা একটি চোঙের ব্যাস মাপা হইতেছে। নিম্নলিখিত পাঠগুলি পাওয়া গেল ; মূল স্কেলের 78 ঘর এবং ভার্নিয়ারের ষষ্ঠ ঘরের দাগ মূল স্কেলের একটি দাগের সঙ্গে মিলিত আছে। ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। [উত্তর : 1·965 cm.]

9. একটি শঙ্কু আকারের মন্দিরের গম্বুজের বহির্গাত্র রং করিতে হইবে এবং প্রতি বর্গমিটার রং করিবার খরচ 50 পয়সা। যদি গম্বুজের উচ্চতা 10 মিটার হয় এবং উহার ভূমিতলের ব্যাস 9·16 মিটার হয়, তাহা হইলে ব্যয় কত হইবে? [উত্তর : 172 টাকা 70 পয়সা]

10. একটি স্ফেরোমিটারের পাদবিন্দুগুলি একটি সমবাহু ত্রিকোণের শীর্ষ বিন্দুগুলি স্পর্শ করে এবং প্রতি বাহুর দৈর্ঘ্য 4 cm. একটি পাদপ্লেটের উপর স্থাপন করিয়া নিয়মিত পাঠ 4·23 cm. এবং একটি অবতল পৃষ্ঠে নিয়মিত পাঠ 4·03 cm. উক্ত পৃষ্ঠের ব্যাসার্ধ বাহির কর। [উত্তর : 13·4 cm.]

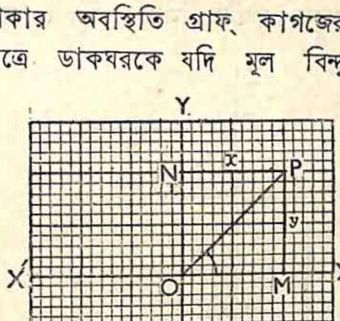
11. কি উপায়ে আমরা একটি অসম আকৃতির পাথরের টুক্‌রার আয়তন বাহির করিতে পারি, তাহার বর্ণনা দাও।

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

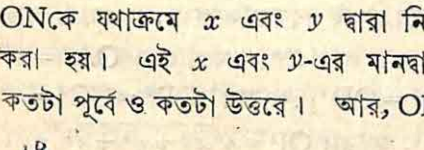
স্থিতি ও গতি

2·1 **অবস্থিতি** (Position) :—চারিদিকে তাকাইলেই আমরা ভিন্ন ভিন্ন বস্তুর অবস্থিতি বুঝিতে পারি। এই বস্তুগুলির অবস্থিতিকে প্রকাশ করিব কিভাবে ? ইহা প্রকাশ করিতে হইলে বলিতে হইবে বস্তুটি কোনও একটি পরিচিত বস্তু (বা বিন্দু) হইতে **কোনদিকে ও কতদূরে** অবস্থিত। যেমন, কোনও গ্রামে একটি স্কুল বাড়ী রহিয়াছে। কোন ব্যক্তি ঐ গ্রামের ডাকঘরে দাঁড়াইয়া স্কুল বাড়িটি কোথায় জানিতে চাহিল। তাহাকে বলা হইল যে স্কুলবাড়ি ডাকঘর হইতে উত্তর পূর্বদিকে আধ মাইল দূরে রহিয়াছে। ইহার দ্বারা ডাকঘরের কোনদিকে কতদূরে স্কুল বাড়ীটি রহিয়াছে, তাহা প্রকাশ করা হইল।

সমতল ক্ষেত্র হইলে জ্যামিতিতে এই প্রকার অবস্থিতি গ্রাফ্ কাগজের সাহায্যে দেখান হয় (চিত্র 34)। এই চিত্রে ডাকঘরকে যদি মূল বিন্দু (O) ধরা যায় এবং OX, OX′, OY, OY′ যথাক্রমে পূর্ব, পশ্চিম, উত্তর ও দক্ষিণ দিক লওয়া হয়, তবে OX, OY-এর অন্তর্ভুক্ত সমকোণকে দ্বিখণ্ডিত করে যে রেখা OP, তাহা উত্তর-পূর্ব দিকে হইবে। যদি OP রেখার দৈর্ঘ্য আধ মাইলের নির্দেশক হয় তবে P বিন্দুই স্কুলবাড়ীর অবস্থিতি নির্ণয় করিবে। ধর, P হইতে OX ও OY'র উপর লম্ব টানা হইল, যথাক্রমে PM ও PN। মূল বিন্দু হইতে M-এর দূরত্ব OM এবং N-এর দূরত্ব ONকে যথাক্রমে x এবং y দ্বারা নির্দেশ করা হয়। এই x এবং y-এর মানদ্বারা জানা যায় স্কুল বাড়ী ডাকঘর হইতে কতটা পূর্বে ও কতটা উত্তরে। আর, OP হইবে $\sqrt{x^2+y^2}$-এর সমান। জ্যামিতি অনুযায়ী, এই ক্ষেত্রে (যদি OP উত্তর পূর্ব দিক হয়) $x=y$; অর্থাৎ $OP=x\sqrt{2}$, বা, $x=y=\frac{OP}{\sqrt{2}}$ $=\frac{1}{2\sqrt{2}}$ মাইল। এখানে x ও y হইতেছে P বিন্দুর **নির্দেশাংক** (Co-ordinates)। x ও y যদি সমান না হয়



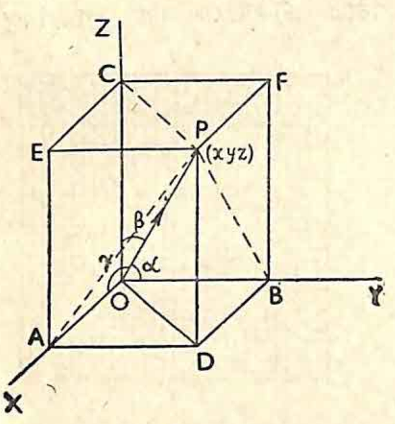
চিত্র নং 34



চিত্র নং 35

তাহা হইলেও P বিন্দুর অবস্থিতি একই ভাবে প্রকাশ করা যায় (চিত্র নং 35)। OP-র দিক ও দৈর্ঘ্য x ও y-এর মান হইতে স্থিরীকৃত হইবে; অর্থাৎ $\angle POX = \tan \frac{x}{y}$; আর, $OP = \sqrt{x^2+y^2}$; অবস্থিতি প্রকাশের এই পদ্ধতিকে বলা হয় **দ্বিমাত্রিক কার্টেসীয় নির্দেশতন্ত্র** (Two-dimensional Cartesian Co-ordinates)।

যদি সমতল ক্ষেত্রে অবস্থিতির পরিবর্তে বস্তু বিন্দুটি XOY তলের বাহিরে অবস্থিত হয় তবে তাহার অবস্থিতি নির্ণয় করিতে **ত্রিমাত্রিক নির্দেশ তন্ত্রের** (Three-dimensional Co-ordinates) সাহায্য লইতে হয় (চিত্র নং 36)। 36 নং চিত্রে P বিন্দুটি সমতল XOY হইতে DP দৈর্ঘ্যের উচ্চতায় রহিয়াছে। সুতরাং DP ঐ সমতলের উপর একটি লম্ব। এখন যদি মূল বিন্দু O হইতে OZ-এর দিকে XOY সমতলের উপর একটি লম্ব টানা হয়, তবে এই OZ দিকটিই হইবে দ্বি-মাত্রিকের উপর তৃতীয় নির্দেশ দিক। তাহা হইলে একটি মূল বিন্দু O হইতে যদি তিনদিকে তিনটি পরস্পর লম্ব টানা হয়,—যেমন এখানে OX, OY, এবং OZ ; তাহা হইলে এই তিনটি পারস্পরিক লম্বকেই—**ত্রিমাত্রিক নির্দেশ তন্ত্র** বলা যাইতে পারে। এই নির্দেশ তন্ত্র অনুসারে P-বিন্দুর অবস্থিতি নির্ণয় করিতে হইলে, ঐ বিন্দু হইতে OX, OY এবং OZ সরল রেখা-ত্রয়ের উপর তিনটি লম্ব টানিতে হইবে। মনে কর, এই লম্বগুলি যথাক্রমে PA,PB এবং PC। আর মূল বিন্দু O হইতে OX,OY এবং OZ সরল রেখাগুলির দিকে A, B এবং C বিন্দু-গুলির দূরত্ব যথাক্রমে OA, OB এবং OC হইবে। এই দূরত্বগুলিকে x, y এবং z দ্বারা প্রকাশ করা হইলে, P-বিন্দুর অবস্থিতি (x, y, z) দ্বারা প্রকাশ করা হয়। $OA^2 = x^2$ এবং $OB^2 = y^2 = AD^2$; সুতরাং $x^2 + y^2 = OD^2$; আবার $DP^2 = OC^2 = z^2$ এবং $OD^2 + DP^2 = x^2 + y^2 + z^2 = OP^2$, সুতরাং $OP = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$;



চিত্র নং 36

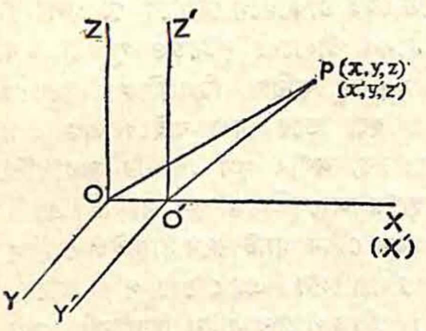
2·2 **স্থিতি ও গতি** (Rest and Motion):—যদি আশপাশের বস্তুর আপেক্ষিকে কোনও বস্তুর অবস্থিতি সময়ের সহিত না বদলায় তবে বলা হয় ঐ শেষোক্ত বস্তু স্থির আছে। যদি আশপাশের যে কোনও বস্তুকে মূল বিন্দু ধরিয়া শেষোক্ত বস্তুর অবস্থিতি গ্রাফ কাগজের সাহায্যে নির্ণয় করা হয়, তাহা হইলে ঐ বস্তুর অবস্থিতি যে কোনও মূহূর্তে একই থাকিবে। যদি মূল বিন্দু একেবারে স্থির থাকে তবে শেষোক্ত বস্তুর স্থিতি হইবে চরম (absolute rest) ; কিন্তু তাহ

দুর্লভ। স্কুলবাড়ী, ডাকঘর, গাছপালা, সবই আপাত দৃষ্টিতে দেখা যায় স্থির। কিন্তু গোটা পৃথিবী তাহার একটা অক্ষে পাক খাইতেছে, এবং সূর্য্যের চারিপাশে প্রচণ্ড বেগে ঘুরিতেছে। সুতরাং সূর্য্য হইতে কেহ তাকাইলে দেখিবে যে স্কুলবাড়ী মোটেই স্থির নয়। চন্দ্রে যাঁহারা নামিয়াছিলেন তাঁহাদের দৃষ্টিতেও পৃথিবী তথা স্কুলবাড়ী স্থির নয়। যদি সূর্য্য বা চন্দ্রকে মূলবিন্দু করিয়া ত্রিমাত্রিক নির্দেশতন্ত্র অনুযায়ী স্কুলবাড়ীর অবস্থিতি চিহ্নিত করা হয়, তবে দেখা যাইবে এক এক সময়ে স্কুলবাড়ীর অবস্থিতি চিহ্ন এক এক জায়গায়, অর্থাৎ স্কুল বাড়ীর অবস্থিতি সময়ের সহিত পাল্টাইতেছে। সুতরাং সূর্যের আপেক্ষিকে স্কুল বাড়ীর একটি **গতি** (motion) আছে। আবার ধর, একজন ষ্টেশন প্ল্যাটফরমে দাঁড়াইয়া দেখিল একটি ট্রেন না থামিয়া প্ল্যাটফরম পার হইয়া চলিয়া গেল। এই ট্রেণের গতি আছে, কিন্তু তাহা কেবল ঐ দর্শকের আপেক্ষিকে। কিন্তু পাশের লাইন দিয়া যদি সেই সময়ে আর একটি ট্রেন প্রথম ট্রেণের পাশ দিয়া সমান্তরাল লাইনে একই দিকে ও একই বেগে চলে, তবে ঐ দ্বিতীয় ট্রেণের যে কোনও আরোহীর দৃষ্টিতে মনে হইবে প্রথম ট্রেন স্থির হইয়া আছে। সুতরাং কোনও বস্তুর তুলনায় অন্য কোনও বস্তুর আপেক্ষিকে গতি থাকিতে পারে। আবার একই সঙ্গে অন্য তৃতীয় বস্তুর আপেক্ষিকে স্থিতিও থাকিতে পারে। এ-সম্বন্ধে 2·10 অনুচ্ছেদে আরও বিশদ আলোচনা করা হইবে।

2·3. নির্দেশ ফ্রেম (Frame of Reference) :—উপরের অনুচ্ছেদে দেখিয়াছ যে কোনও বস্তুর গতি নির্ভর করে সময়ের সঙ্গে উহার অবস্থিতির পরিবর্তনের উপর, আর অবস্থান চিহ্নিত করিতে হয় কোনও বস্তু বা বিন্দুর সাপেক্ষে। যাহার সাপেক্ষে এই অবস্থিতির নির্ণয়ন, তাহাকে মূলবিন্দু (origin) ধরিয়া তিনটি পরস্পর লম্ব (orthogonal) প্রধান দিক (cardinal directions) টানিতে হয়। অর্থাৎ ঐ মূলবিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া একটি ত্রিমাত্রিক নির্দেশতন্ত্র [চিত্র—35] রচনা করিতে হয়। সেই নির্দেশতন্ত্র অনুযায়ী বস্তুটির (চিত্রে P) অবস্থিতি উহার নির্দেশাংক (x, y, z) দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এই নির্দেশতন্ত্র, যাহার সাপেক্ষে P (এবং যে কোনও বিন্দু)-র অবস্থিতি বর্ণনা করা হয় তাহাকে বলে একটি **নির্দেশ ফ্রেম (Frame of Reference)**। যদি দেখা যায় যে কিছুক্ষণ পরে P-এর নির্দেশাংকত্রয়ের একটি বা দুইটি বা তিনটিই পরিবর্তিত হইয়াছে, তাহা হইলে ঐ নির্দেশ ফ্রেম সাপেক্ষে P-এর গতি আছে।

এখন ধর, আর একটি বিন্দুকে (O′) মূলবিন্দু ধরিয়া আর একটি নির্দেশ ফ্রেম রচনা করা হইল [চিত্র নং 36]। বুঝিবার সুবিধার জন্য ধর, O′ বিন্দু OXএর উপর অবস্থিত। সুতরাং O′Y′ ও O′Z′ যথাক্রমে OY ও OZএর সমান্তরাল। এই নির্দেশাংক সাপেক্ষে P-এর তিনটি নির্দেশাংক আছে, (x', y', z'), আর $y' = y$, $z' = z$ যদি P বিন্দু O নির্দেশ ফ্রেম সাপেক্ষ স্থির থাকে, তবে x, y, z অপরিবর্তিত থাকিবে, তৎসহ x', y', z' ও অপরিবর্তিত থাকিবে; অর্থাৎ P বিন্দু O′

নির্দেশফ্রেম সাপেক্ষে স্থির থাকিবে। যদি x, y, z, সময়ের সহিত পরিবর্তিত হয়, তবে x′, y′, z′ একই ভাবে পরিবর্তিত হইবে। অর্থাৎ O ফ্রেম সাপেক্ষে P বিন্দুর কোনও গতি থাকিলে O′ ফ্রেম সাপেক্ষে উহার একই গতি থাকিবে। তাহার অর্থ, উভয় নির্দেশ ফ্রেম একই নির্দেশ ফ্রেমের অন্তর্ভুক্ত। যদি x, y, z যথাক্রমে x′, y′, z′-এর সমান্তরাল নাও হয় তথাপি O এবং O′ স্থির থাকিলে উভয় ফ্রেম একই নির্দেশ ফ্রেমের অন্তর্ভুক্ত। P-এর অবস্থিতি দুই ফ্রেমে আলদা হইলেও উহার গতি দুই ফ্রেমে একই হইবে।



চিত্র নং 37

এখন ধর, O′ বিন্দু একটি রেলগাড়ীর কামরায় অবস্থিত ; আর, রেলগাড়ীটি OX′ (বা OX) দিকে এমনভাবে চলিতেছে যে, O নির্দেশ ফ্রেমে O′ বিন্দুর x নির্দেশাংক প্রতি সেকেণ্ডে সম পরিমাণ বাড়িতেছে (বা কমিতেছে)। তাহা হইলে P-বিন্দুর x নির্দেশাংক ঠিক থাকিবে, কিন্তু উহার x′ নির্দেশাংক ঐ সম পরিমাণ প্রতি সেকেণ্ডে কমিবে (বা বাড়িবে)] অর্থাৎ O-নির্দেশ ফ্রেম সাপেক্ষে P-এর কোনও গতি না থাকিলেও O′ নির্দেশ ফ্রেম সাপেক্ষে উহার একটি গতি হইবে, এবং উহা হইবে O ফ্রেমে O′ বিন্দুর গতির সমান কিন্তু বিপরীতদিকে। সমস্ত ব্যাপার পরিষ্কার হইবে, যদি তুমি কল্পনা কর যে উপরের রেল গাড়ীর কামরার জানালার ধারে তুমি স্থির হইয়া বসিয়া আছ, আর তোমার এক বন্ধু রেল লাইনের, পাশে সমান্তরাল একটি রাস্তায় দাঁড়াইয়া আছে। তাহার পর তুমি একটি ঢিল হাতে



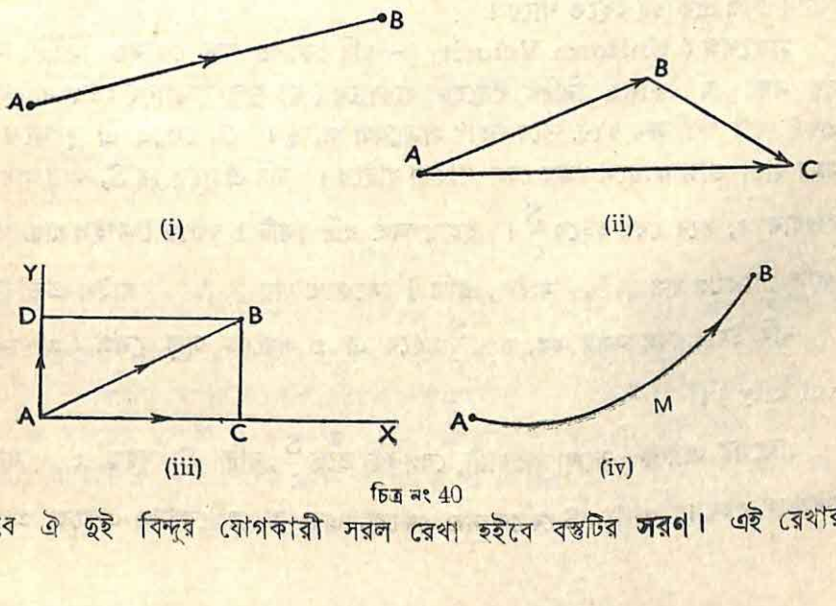
চিত্র নং 38 চিত্র নং 39

লইয়া জানালা দিয়া আল্‌গাভাবে ছাড়িয়া দিলে (ছুঁড়িয়া নয়) এবং ঢিলটির গতি লক্ষ্য করিলে। তাহা হইলে তুমি দেখিবে ঢিলটি সোজা খাড়াভাবে নামিয়া গেল (চিত্র নং 38)। ঠিক সেই সময় তোমার বন্ধু দেখিবে, ঢিলটি একটি অধিবৃত্ত (Parabola)

অনুসরণ করিয়া নামিয়া যাইতেছে (চিত্র নং 39 দ্রষ্টব্য)। এখানে তোমার বন্ধু চিত্র 37-এর O নির্দেশফ্রেমের অন্তর্ভুক্ত (স্থিরনির্দেশ ফ্রেম), আর তুমি O′ নির্দেশফ্রেমের (গতিশীল) অন্তর্ভুক্ত। O′-নির্দেশফ্রেম O নির্দেশফ্রেম সাপেক্ষে একটি নির্দিষ্ট দিকে সমবেগে চলিতেছে। এইরূপ নির্দেশফ্রেম, যাহা স্থির অথবা কোনও স্থির নির্দেশ ফ্রেম সাপেক্ষে কোনও নির্দিষ্ট দিকে সমবেগে গতিশীল, তাহাকে বলে **জড়ত্বীয় নির্দেশ ফ্রেম (Inertial Frame of Reference)**। ইহার বৈশিষ্ট্য এই যে, এইরূপ নির্দেশফ্রেমে নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র [তৃতীয় পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য] প্রযোজ্য। রাস্তায় কোনও লোক একটি চাকা বা ঐরূপ কোনও জিনিসকে ধাক্কা দিলে তাহার সে গতি সৃষ্ট হইবে, ঐ সমবেগসম্পন্ন রেলগাড়ীর কামরায় ঐ লোক একই জিনিসকে সমান ধাক্কা দিলে সেই একই গতি সৃষ্টি হইবে। পৃথিবীর মাটিতে কোনও বিন্দুকে মূলবিন্দু ধরিয়া নির্দেশফ্রেম রচনা করিলে তাহা হইবে একটি মোটামুটিভাবে (সূক্ষ্মভাবে নয়) জড়ত্বীয় নির্দেশ ফ্রেম। এ সম্বন্ধে পরে তোমরা আরও জানিতে পারিবে।

2·4, গতির প্রকারভেদঃ—কোনও বস্তুর গতি **চলন** (translatory) বা **ঘূর্ণন** (rotatory) বা উভয়ের মিশ্রণ হইতে পারে। আবার, চলন গতি রৈখিক (rectilinear) বা বক্র (curvilinear) হইতে পারে। সরলরেখা অনুসরণ করিয়া চলিলে রৈখিক চলন গতি, আর বক্ররেখা অনুসরণ করিয়া চলিলে বক্র চলন গতি। যদি কোনও স্থান বা বস্তুকে কেন্দ্র করিয়া উহা চক্রাকারে ঘোরে তবে তাহার গতিকে বলে **ঘূর্ণন**। আবার একটি চলমান গাড়ীর চাকার গতি লক্ষ্য করিলেই দেখিবে উহা চলন ও ঘূর্ণনের মিশ্রণ।

সরণ (Displacement), **দ্রুতি** (Speed), **বেগ** (Velocity) **ও ত্বরণ** (Acceleration)ঃ—যদি কোন বস্তু একটি বিন্দু হইতে আর এক বিন্দুতে যায়,



চিত্র নং 40

তবে ঐ দুই বিন্দুর যোগকারী সরল রেখা হইবে বস্তুটির **সরণ**। এই রেখার

একটি দৈর্ঘ্য ও একটি নির্দিষ্ট দিক আছে। ঐ দৈর্ঘ্য এই সরণের মান, এবং ঐ দিক এই সরণের দিক। 40(i) চিত্রে একটি বস্তু A হইতে B বিন্দু পর্যন্ত গিয়াছে, সুতরাং বস্তুটির সরণ $\vec{AB}$। যদি বস্তুটি A হইতে B তে যাইয়া তাহার পর Cতে যায় [চিত্র 40(ii)] তবে মোট সরণ হইবে $\vec{AC}$; এস্থলে $\vec{AC}=\vec{AB}+\vec{BC}$। চিত্র 40 (iii)' তে দেখা যাইতেছে, যদি AX ও AY দুইটি পরস্পর লম্বদিক হয় (ধর, পূর্ব ও উত্তর), তবে বস্তুটি A হইতে B তে গেলে উহা ABর দিকে AB দৈর্ঘ্য গিয়াছে, এবং AX ও AY দিকে গিয়াছে যথাক্রমে AC ও AD অর্থাৎ সরণ AB = সরণ AC + সরণ AD।

যদি বস্তুটি A হইতে B পর্য্যন্ত বক্রপথে (AMB) যায় [চিত্র-40 (iv)], এবং এই ভ্রমণে যদি সময় লাগে t সেকেণ্ড, তবে প্রতি সেকেণ্ডে $\frac{AMB}{t}$ দূরত্ব অতিক্রম করে। ইহাই হইল বস্তুটির গড় **দ্রুতি**। সুতরাং দ্রুতির মান আছে, কিন্তু কোনও নির্দিষ্ট দিক নাই। বক্রপথের এক একটি বিন্দুতে বস্তুটির গতির দিক এক এক রকম।

যদি কোনও বস্তু চলমান হয়, তবে **প্রতি একক সময়ের ব্যবধানে কোনও দিকে** উহার যে সরণ হয় তাহাই উহার **বেগ**। ঐ সরণের মান ও দিক উহার বেগের দিকে বেগের মান ও দিক হইবে। তাহা হইলে বেগ একটি ভেক্টর রাশি ; উহাকে বেগের অনুযায়ী দৈর্ঘ্যের একটি সরল রেখা দ্বারা প্রকাশ করা যায়। প্রতি একক সময়ের ব্যবধানের পরিবর্তে যে কোনও সময়ের ব্যবধানে যে সরণ হয় তাহার মানকে সেই সময় দিয়া ভাগ করিলেও বেগের মান পাওয়া যায়। দ্রুতি ও বেগ সম ও অসম উভয় প্রকারই হইতে পারে।

সমবেগ (Uniform Velocity)—যদি কোনও বস্তু কোনও নির্দিষ্ট দিকে সব সময় যে কোনও নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে (যত ক্ষুদ্র ব্যবধানই হউক না কেন) একই দূরত্ব অতিক্রম করে, তবে উহার **সমবেগ** আছে। সে ক্ষেত্রে ঐ দূরত্বকে ঐ সময় দ্বারা ভাগ করিলে বস্তুর বেগ পাওয়া যাইবে। যদি ঐ দূরত্ব হয় S, আর সময়ের ব্যবধান t, তবে বেগ হইবে $\frac{S}{t}$। ইহার অর্থ, যদি বস্তুটি 1 ঘণ্টায় 1 মাইল যায়, তবে প্রতি সেকেণ্ডে যায় $\frac{1}{৬০\times৬০}$ মাইল, প্রতি $\frac{1}{৮}$ সেকেণ্ডে যায় $\frac{1}{৮\times৬০\times৬০}$ মাইল প্রভৃতি।

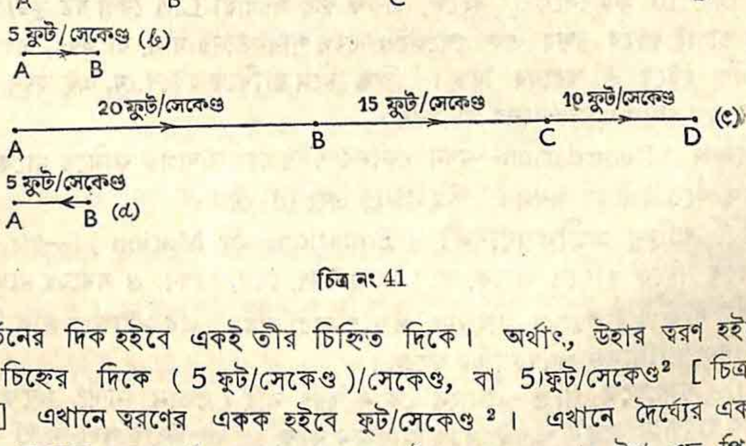
যদি উহার বেগ অসম হয়, তবে $\frac{S}{t}$ হইবে ঐ t সময়ের **গড় বেগ** (average velocity)।

বেগের একক—সংজ্ঞা অনুযায়ী, বেগ হইতেছে $\frac{S}{t}$, যদি S দূরত্ব t সময়ে অতিক্রান্ত হয়। এখানে S যে কোনও এককে, এবং t যে কোনও এককে প্রকাশ

করা যায়। যদি t ঘণ্টায় S কিলোমিটার অতিক্রান্ত হয়, তবে বেগ হইবে $\frac{S}{t}$ কিলোমিটার প্রতি ঘণ্টা, বা $\frac{S \times 1000 \times 100}{t \times 60 \times 60}$ সেঃ মিঃ প্রতি সেকেণ্ড। সুতরাং একক গতিবেগের সংজ্ঞা হইবে, যদি কোনও বস্তু সময়ের একক ব্যবধানে একক দৈর্ঘ্য অতিক্রম করে, তবে উহার বেগ একক হইবে। সি.জি.এস. পদ্ধতি অনুযায়ী ইহা হইবে সেঃ মিঃ প্রতি সেকেণ্ড ; এফ.পি.এস. পদ্ধতি অনুযায়ী 1 ফুট প্রতি সেকেণ্ড।

ত্বরণ (**Acceleration**)—কোনও বস্তুর বেগ যদি সময়ের সহিত বদলায়, তবে একক সময়ে বেগের পরিবর্তনের হারকে ঐ বস্তুর **ত্বরণ** বলে। বেগের দিক ও মান উভয়ই আছে। সুতরাং কোনও বেগের দিক একই থাকিয়া মান পরিবর্তন (হ্রাস বা বৃদ্ধি) হইলে, অথবা মান একই থাকিয়া দিক পরিবর্তন হইলে, অথবা দিক ও মান উভয়ের পরিবর্তন হইলে, বেগের পরিবর্তন হইবে। সুতরাং ত্বরণেরও দিক ও মান উভয়ই আছে। ত্বরণ একটি ভেক্টর রাশি। উহাকে কোনও দিকে উপযুক্ত দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি সরল রেখা দ্বারা প্রকাশ করা যায় [চিত্র-40 (i)]।

একটি বস্তু A বিন্দুতে তীর চিহ্নিত দিকে 10 ফুট/সেকেণ্ড গতিতে চলিতেছে, 1 সেকেণ্ড বাদে B বিন্দুতে 15 ফুট/সেকেণ্ড গতিবেগে একই দিকে চলিতেছে, আর এক সেকেণ্ড পরে C বিন্দুতে একই দিকে 20 ফুট/ সেকেণ্ড বেগে চলিতেছে [চিত্র 41 (a)]। যদি বস্তুটির বেগের পরিবর্তন সমহারে হইয়া থাকে, তবে বস্তুটির বেগের পরিবর্তনের হার হইবে প্রতি সেকেণ্ডে 5 ফুট/সেকেণ্ড, এবং এই

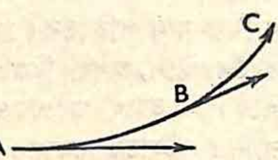


চিত্র নং 41

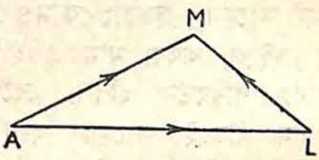
পরিবর্তনের দিক হইবে একই তীর চিহ্নিত দিকে। অর্থাৎ, উহার ত্বরণ হইবে ঐ তীর চিহ্নের দিকে (5 ফুট/সেকেণ্ড)/সেকেণ্ড, বা 5 ফুট/সেকেণ্ড^2 [চিত্র 41-(b))] এখানে ত্বরণের একক হইবে ফুট/সেকেণ্ড ^{2}। এখানে দৈর্ঘ্যের একক 1 ফুট ও সময়ের একক 1 সেকেণ্ড লওয়া হইয়াছে। সুতরাং ইহা এফ. পি. এস পদ্ধতি অনুযায়ী। যদি দৈর্ঘের একক 1 মাইল ও সময়ের একক 1 ঘণ্টা লওয়া হয়, তবে ত্বরণের একক হইবে 1 মাইল/ঘণ্টা^{2}। অনুরূপভাবে সি. জি. এস. পদ্ধতি

অনুযায়ী ত্বরণের একক হইবে সেন্টিমিটার/সেকেণ্ড² । আর যদি A বিন্দুতে বেগ হয় 20 ফুট/সেকেণ্ড (একই তীর চিহ্নিত দিকে), 1 সেকেণ্ড পরে B'তে 15 ফুট/সেকেণ্ড, আর 1 সেকেণ্ড পরে C' তে 10 ফুট/সেকেণ্ড (চিত্র নং 41c) দিকে), তবে ত্বরণ ঐ একই 5 ফুট/সেকেণ্ড ² হইবে, কিন্তু উহার দিক হইবে বেগের উল্টাদিকে [চিত্র 41 (d)]। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে ঋণাত্মক ত্বরণ হয়, যাহাকে আমরা মন্দন বলি।

চিত্র 42-এ একটি বস্তু বক্রপথে A হইতে B বিন্দু পর্যন্ত 1 সেকেণ্ডে সম দ্রুতগতিতে আসিল। এখানে প্রতি মূহূর্তে বস্তুর বেগের মান একই আছে, কিন্তু দিক বদলাইতেছে। সুতরাং বেগেরও পরিবর্তন হইতেছে।



চিত্র নং 42



চিত্র নং 43

চিত্র 42-এর A বিন্দুতে যে বেগ তাহা চিত্র 4৩-এ দেখান হইয়াছে $\overrightarrow{AL}$ দ্বারা আর B বিন্দুতে যে বেগ তাহা দেখান হইয়াছে 43-এ $\overrightarrow{AM}$ দ্বারা (দিক ও মান উভয়ত)। এখন ভেক্টর রাশির যোগ নিয়ম অনুযায়ী, $\overrightarrow{AL}+\overrightarrow{LM}=\overrightarrow{AM}$। সুতরাং $\overrightarrow{LM}$ হইতেছে প্রথমোক্ত বেগের পরিবর্তন, এবং এই পরিবর্তনের ফলেই শেষোক্ত বেগের উদ্ভব হইয়াছে। আর এই পরিবর্তন ঘটিয়াছে 1 সেকেণ্ডে। সুতরাং AL বা AM দৈর্ঘ্য 10 ফুট/সেকেণ্ড হইলে, একক সূত্র অনুযায়ী LM দৈর্ঘ্য যত ফুট/সেকেণ্ড হইবে তাহাই হইবে বস্তুর এক সেকেণ্ডে বেগ পরিবর্তনের মান, বা ত্বরণ, এবং LM' এর দিক হইবে ঐ ত্বরণের দিক। কিন্তু মনে রাখিতে হইবে যে, এই ত্বরণ অসম ; ইহা ঐ এক সেকেণ্ড ব্যবধানের গড় ত্বরণ।

মন্দন (Retardation—যখন কোনও বস্তুর বেগ ক্রমাগত কমিতে থাকে, তখন উহার ত্বরণকে বলা হয় মন্দন। চিত্র 41(c) এবং (d) দেখ।

2.5. **গতির সমীকরণাবলী** (Equations of Motion):—যদি কোন বস্তু একই দিকে চলিতে থাকে, তবে উহার সরণ, বেগ, ত্বরণ ও সময়ের মধ্যে সম্বন্ধ কয়েকটি সহজ সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়। এই সমীকরণগুলি বিখ্যাত বৈজ্ঞানিক গ্যালিলিও প্রথম বাহির করেন।

(i) **সমবেগে গতি**—এখানে কোন ত্বরণ নাই। কোন নির্দিষ্ট দিকে একই সময়ের ব্যবধানে বস্তুটি একই দূরত্ব অতিক্রম করে,। ধর, উহার সমবেগ U একক। সুতরাং প্রতি একক সময়ে উহা U একক দৈর্ঘ্য অতিক্রম করে, এবং যদি t সময়ের ব্যবধানে S একক দৈর্ঘ্য অতিক্রম করে, তবে—

$$S=ut \qquad \cdots(2{\cdot}1)$$

(ii) **সম ত্বরণযুক্ত গতি** (Motion with Uniform Acceleration)—মনে কর, একটি বস্তুর প্রারম্ভিক বেগ u, এবং ইহা একটি সমত্বরণ f সহ t সময় চলিল। ত্বরণের সংজ্ঞা অনুযায়ী প্রতি সেকেণ্ডে উহার বেগ একই দিকে f করিয়া বাড়িতেছে, এবং t সময় পর উহার বেগের বৃদ্ধির মান হইবে ft; সুতরাং t সময় অন্তে যদি উহার বেগ হয় v, তবে $v = u + ft$ ... (2·2)

$$\text{আর,}\quad f = \frac{v-u}{t} = \frac{\text{বেগের বর্ধন}}{\text{সময়}}$$

যদি ত্বরণ ঋণাত্মক (বা মন্দন) হয়, তবে ত্বরণ হইবে—f, এবং $v = u - ft$

(iii) **সমত্বরণসহ গতিতে কোন সাময়িক ব্যবধানে অতিক্রান্ত দূরত্বের হিসাব**। মনে কর, কোনও বস্তুর প্রারম্ভিক বেগ u, ত্বরণ f, এবং t সেকেণ্ড পরে বেগ v।

আরম্ভের সময় বেগ $= u$ এবং শেষ মুহূর্তে বেগ $= v$

$$\therefore \text{ এই দুই মুহূর্তের গড় বেগ} = \frac{u+v}{2}$$

আবার, আরম্ভের 1 সেকেণ্ড পরে বেগ $= u + f$

শেষের 1 সেকেণ্ড পূর্বে বেগ $= v - f$

$$\therefore \text{ এই দুই মুহূর্তের গড় বেগ} = \frac{(u+f)+(v-f)}{2} = \frac{u+v}{2}$$

আবার, আরম্ভের 2 সেকেণ্ড পরে বেগ $= u + 2t$

শেষের 2 সেকেণ্ড পূর্বে বেগ $= v - 2f$

$$\therefore \text{ এই দুই মুহূর্তের গড় বেগ} = \frac{u+v}{2}$$

এইভাবে সমগ্র t সেকেণ্ডকে দুই সমান অংশে ভাগ করা হইল। প্রথম অর্দ্ধাংশের যে কোনও মুহূর্ত আরম্ভ হইতে যত পরে, এবং দ্বিতীয় অর্দ্ধাংশের শেষ হইতে তত পূর্বে যে মুহূর্ত, এই দুই মুহূর্তের গড় বেগ একই হইবে, $\frac{u+v}{2}$। সুতরাং সমগ্র t সেকেণ্ডে ভিন্ন ভিন্ন মুহূর্তে যদিও বেগ ভিন্ন ভিন্ন, তথাপি উহাদের গড় বেগ $\frac{u+v}{2}$। স্বভাবতই বস্তুটি প্রারম্ভিক বেগ u সহ ত্বরণ f সহিত t সেকেণ্ডে যত দূরত্ব অতিক্রম করিবে, যদি তাহার বদলে $\frac{u+v}{2}$ সমবেগে t সেকেণ্ড চলে তাহা হইলেও একই দূরত্ব অতিক্রম করিবে। তাহা হইলে সেই দূরত্ব হইবে—

$$S = \frac{u+v}{2} \times t = \frac{u+(u+ft)}{2} \times t \qquad \text{[সমীকরণ (2·2) হইতে]}$$

$$= (u + \tfrac{1}{2}ft)t = ut + \tfrac{1}{2}ft^2 \qquad \text{... (2·3)}$$

(vi) **কোনও নির্দিষ্ট ত্বরণ সহ একটি নির্দিষ্ট দূরত্ব অতিক্রম করিলে কত বেগ হইবে তাহার হিসাব**—মনে কর, প্রারম্ভিক বেগ $=u$

$\therefore$ সমীকরণ (2·2) হইতে, $v=u+ft$

$$\therefore \quad v^2=u^2+2uft+f^2t^2=u^2+2f(ut+\tfrac{1}{2}ft^2)$$
$$=u^2+2fs \qquad \cdots \quad (2{\cdot}4)$$

(v) **গতির মধ্যপথে কোনও নির্দিষ্ট সেকেণ্ডে কত দূরত্ব অতিক্রম করিবে তাহার হিসাব**—

ধর, t-তম সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব $=S_t$

$\therefore$ $S_t=t$ সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব—$(t-1)$ সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব

$$=ut+\tfrac{1}{2}ft^2-[u(t-1)+\tfrac{1}{2}f(t-1)^2]=u+\tfrac{1}{2}f[t^2-(t-1)^2]$$
$$=u+\tfrac{1}{2}f(2t-1) \qquad \cdots \quad (2{\cdot}5)$$

বিশেষ ক্ষেত্রাবলী—

(i) যদি $u=o$, তবে $v=ft$; $S=\frac{1}{2}ft^2$; $S_t=\frac{1}{2}f(2t-1)$

(ii) যদি বস্তুটির মন্দন থাকে, তবে উপরের সমীকরণগুলিতে f' এর স্থানে $-f$ বসাও ; তাহা হইলেই পরিবর্তিত সমীকরণগুলি পাইবে।

2·6. **ভরবেগ** (**Momentum**) :—কোনও বেগে যখন কোনও বস্তু চলিতে থাকে তখন তাহার সামগ্রিক ফল কি ? ধর, একটি পাতলা দেওয়ালকে ভাঙ্গিতে হইবে, এবং সেজন্য একটি বুলডজার গাড়ীকে সবেগে উহার উপর চালাইয়া দেওয়া হইল। গাড়ীটি যদি হাল্কা হয় তবে উহাকে অধিক বেগে চালাইতে হইবে ; আর যদি উহা খুব ভারী হয় তবে অপেক্ষাকৃত অল্প বেগে চালাইলে দেওয়াল ভাঙ্গিয়া যাইবে। ধর, 1000 কিলোগ্রাম ভরের একটি গাড়ী দিয়া দেওয়ালটি ভাঙ্গিতে উহাকে অন্তত 10 কিলোমিটার/ঘণ্টা বেগে চালাইয়া ধাক্কা দিতে হয়। দেখা যাইবে, 2000 কিলোগ্রাম ভরের গাড়ীকে অন্ততঃ 5 কিঃ মিঃ/ঘণ্টা বেগে চালাইয়া ধাক্কা দিলে দেওয়ালটি ভাঙ্গিয়া যাইবে। তাহা হইলে এই ধাক্কা দিবার ক্ষমতা বস্তুর ভর ও বেগের গুণফলের সমান। ইহাই হইল বস্তুর **ভরবেগ** (**Momentum**)।

যদি কোনও বস্তুর ভর হয় m এবং বেগ হয় v, তবে উহার ভরবেগ হইবে mv আর যেহেতু বেগের একটি নির্দিষ্ট দিক আছে, সেহেতু ভরবেগের ও একটি নির্দিষ্ট দিক থাকে ; এবং বেগের দিকই ভরবেগের দিক।

একক—যেহেতু ভরবেগ $=mv$, সুতরাং যদি $m=1$ ও $v=1$ হয়, তবে ভরবেগ $=1$। স্বভাবতই সি.জি.এস পদ্ধতি অনুযায়ী, একক ভরবেগ $=1$ গ্রাম $\times$ 1 সেঃ মিঃ/সেকেণ্ড $=1$ গ্রাম সেঃ মিঃ/সেকেণ্ড।

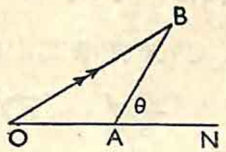
'এফ.পি.এস পদ্ধতি অনুযায়ী, একক ভরবেগ $=1$ পাউণ্ড ফুট/সেকেণ্ড।

2.6. **স্কেলার ও ভেক্টর রাশি (Scalar and Vector Quantities)** :—অনেক ভৌতিক রাশি (physical quantity) আছে, যাহাদের কেবল মান

(magnitude) আছে, এবং সাধারণ পাটিগণিতের নিয়ম অনুযায়ী যাহাদের যোগ বিয়োগ করা যায়। যেমন, একজন সকালে 5 ঘণ্টা কাজ করিল, এবং বিকালে 4 ঘণ্টা কাজ করিল। ফলে সারাদিনে সে 9 ঘণ্টা কাজ করিল। কাজের পুরা সময় সাধারণ যোগের নিয়ম দ্বারা বাহির হইল। এই সকল রাশিকে বলে **স্কেলার রাশি**। সময়, ভর, শক্তি, উষ্ণতা প্রভৃতি রাশি স্কেলার রাশি।

আবার, অনেক ভৌতিক রাশি আছে, যাহাদের প্রকাশ করিতে হইলে কেবল মান নয়, দিকও নির্দেশ করিতে হয়। একজন কলিকাতা হইতে 100 মাইল দূরে গিয়াছে—ইহা দ্বারা সে কোথায় গিয়াছে তাহা প্রকাশ করা যায় না। কিন্তু যদি বলা যায় কলিকাতা হইতে পূর্ব দিকে 100 মাইল গিয়াছে, তাহা হইলে তাহার নূতন অবস্থান প্রকাশ করা হয়। সুতরাং কলিকাতা হইতে পূর্বদিকে 100 মাইল দীর্ঘ একটি রেখা টানিলে উহা দ্বারা তাহার নূতন অবস্থান এবং সরণ (displacement) প্রকাশ করা যায়। এই সরণ, এবং অনুরূপ অন্যান্য ভৌতিক রাশি, যাহাদের মান ও দিক নির্দেশ করিয়া তবেই প্রকাশ করা যায়, তাহাদের বলে **ভেক্টর রাশি**। সরণ, বেগ, ত্বরণ, বল, ভরবেগ প্রভৃতি রাশি ভেক্টর রাশি।

ধর. কেহ O-হইতে OA-দিকে OA-দূরত্ব যাইয়া AB-দিকে AB-দূরত্ব গেল। AB-দিক OAN-দিকের সহিত θ-কোণ অন্তর্ভুক্ত করে (চিত্র নং 44)। ইহার দ্বারা AB-দিকের প্রকাশ করা হইল। তাহা হইলে ব্যক্তিটির মোট সরণ হইল OB সরলরেখার দিকে OB দূরত্ব।



চিত্র নং 44

দেখা যাইতেছে, সরণ OA ও সরণ AB-র যোগফল হইতেছে সরণ OB [চিত্র নং 44 দ্রষ্টব্য]। ভেক্টরের সাংকেতিক চিহ্ন অনুযায়ী,

$$\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AB} = \overrightarrow{OB}$$

আর, $$\overrightarrow{OB} - \overrightarrow{AB} = \overrightarrow{OA}$$

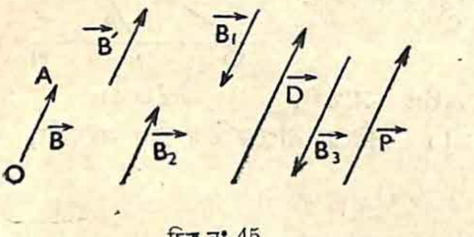
স্পষ্টতঃই, একাধিক ভেক্টর রাশির যোগফল বা দুই ভেক্টর রাশির বিয়োগ ফল পাটিগণিতের নিয়ম অনুযায়ী হয় না, উহা সামান্তরিক নিয়ম (Parallelogram law) অনুযায়ী হয়। এ সম্বন্ধে § 2.10-এ বিস্তারিত আলোচনা হইবে। যদি $\overrightarrow{OA}$, $\overrightarrow{AB}$ ও $\overrightarrow{OB}$ হয় যথাক্রমে $\vec{P}$, $\vec{Q}$, $\vec{R}$, তবে $\vec{P} + \vec{Q} = \vec{R}$।

2-7. **ভেক্টরের প্রকাশ (Representation of a Vector) :**—সরণ একটি নির্দিষ্ট দিকে একটি দৈর্ঘ্য। একটি কাগজে ঐ নির্দেশক দিকে সমান দৈর্ঘ্যের একটি রেখা টানিলেই তাহা দ্বারা ঐ সরণকে প্রকাশ করা যায়। আবার

একটি উপযুক্ত স্কেল বাছিয়া ঐ দৈর্ঘ্যের বদলে অন্য দৈর্ঘ্যের (কিন্তু ঐ নির্দিষ্ট দিকে) রেখা টানিয়াও উহা প্রকাশ করা যায়। যেমন, পূর্বদিকমুখী 100 কিলো মিঃ দৈর্ঘ্যের সরণকে 5 সেন্টি মিঃ দীর্ঘ পূর্বদিকমুখী একটি রেখা (তাহার সহিত উপযুক্ত দিকে তীর চিহ্ন দিয়া) দ্বারা প্রকাশ করা যায়। **তবে সেই চিত্রেই যদি অন্য আর এক দিকমুখী 50 কিঃ মিঃ দীর্ঘ আর একটি সরণ চিত্রিত করিতে হয় তবে সেই দিকমুখী 2½ সেঃ মিঃ দীর্ঘ আর একটি রেখা টানিতে হইবে। অর্থাৎ একই চিত্র একই শ্রেণীর ভেক্টর আঁকিতে হইলে তাহাদের একটি নির্দিষ্ট স্কেল চাই।**

সরণ একটি দৈর্ঘ্য বলিয়াই যে এইভাবে প্রকাশ করা যায় তাহা নহে, যে কোনও ভেক্টর রাশিকেই এইভাবে প্রকাশ করা যায়। উত্তর-পূর্বদিকমুখী একটি বেগ, 10 সেঃ মিঃ / সেকেণ্ড ; উহা একটি ভেক্টর রাশি। ধর, একটি স্কেল ঠিক করা হইল, 5 সেঃ মিঃ / সেকেণ্ড ≡ 1 সেঃ মিঃ। এইবার উত্তর-পূর্বদিক মুখী 2 সেঃ মিঃ দীর্ঘ একটি রেখা আঁক ; এবং উপযুক্ত দিকে তীরচিহ্ন বসাও। এই রেখা ঐ বেগকে প্রকাশ করিবে। এইরূপে যে কোনও ভেক্টর রাশিকে একটি সীমিত দৈর্ঘ্যের সরল রেখা দ্বারা প্রকাশ করা যায়। **যে রেখা দ্বারা ইহা প্রকাশ করা হয় তাহাকে বলে ভেক্টর চিত্র।**

উপরে দেখিয়াছ, চিত্রে অঙ্কিত সীমিত রেখা একটি ভেক্টর রাশির প্রকাশ। ভেক্টর রাশির মান ও দিক অনুযায়ী একটি স্কেল বা মাপ অনুসরণ করিয়া ভেক্টর অঙ্কিত করা হয়। সুতরাং অঙ্কিত ভেক্টরের সমান দৈর্ঘ্যের একটি সরল রেখা উহার সমান্তরাল করিয়া যে কোনও যায়গায় অঙ্কিত করিলেই উহা একই ভেক্টর হইবে। চিত্র 45 এ



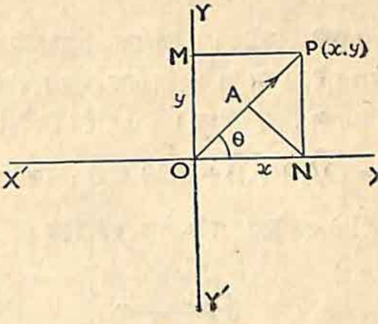
চিত্র নং 45

$\vec{B}=\vec{B'}=\vec{B_2}$ । আবার $\vec{B_1}$ একই মানের ; কিন্তু বিপরীত দিকে তীর চিহ্ন থাকায় $\vec{B_2}=-\vec{B_1}$ । ভেক্টর $\vec{D}$ এর দিক একই কিন্তু মান $\vec{B}$ ভেক্টর হইতে বেশী।

দেখা যাইতেছে, ভেক্টর দ্বারা কোনও ভৌতিক রাশিকে প্রকাশ করা সম্ভব হয় যদি, (1) **দুই রাশির যোগফল সামান্তরিক সূত্র দ্বারা বাহির করিতে হয়,** এবং (2) **রাশির মান ও দিক কোনও নির্দিষ্ট মূলবিন্দু বা নির্দেশতন্ত্রের** (Co-ordinate system) **উপর নির্ভরশীল না হয়।**

অবস্থিতি ভেক্টর (Position Vector) :—কোনও বস্তুর অবস্থিতি একটি

ভেক্টররূপে প্রকাশ করা যায়। মনে কর, P-বিন্দু কোনও বস্তুর অবস্থিতি। চিত্র নং 46'-এ P-বিন্দু XY-তলে দ্বিমাত্রিক কার্টেসীয় নির্দেশ তন্ত্র অনুযায়ী মূলবিন্দু O হইতে OP-দূরত্বে রহিয়াছে। উহার নির্দেশাংক (x, y); বস্তুর অবস্থিতি নির্দেশ করে। এই অবস্থিতি $\overrightarrow{OP}$ ভেক্টরের সাহায্যেও করা যায়। OP-র মান হইবে $\sqrt{x^2+y^2}$; OP ভেক্টরের দিক $\angle POX$ $(=\theta)$ বা $\angle POY$-এর দ্বারা নির্দিষ্ট করা যায়।

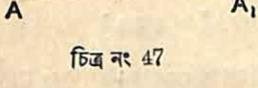


চিত্র নং 46

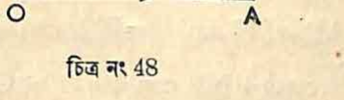
যদি P-বিন্দু XY-তলে অবস্থিত না হয় তবে ত্রিমাত্রিক নির্দেশতন্ত্র (Three-dimensional Co-ordinate System)-এর সাহায্য লইতে হয়। এ সম্বন্ধে আরও বিস্তারিত আলোচনা §§ 2·8 এবং 2·9-এ পাইবে।

2·8. ভেক্টরের সংযোজন ও বিয়োজন (Composition and Resolution of Vectors) : দুই বা ততোধিক ভেক্টরের মিলিত ফল যদি একটি ভেক্টর হয়, তবে শেষোক্ত ভেক্টরকে প্রথমোক্ত ভেক্টরগুলির **লব্ধি** (Resultant) বলে। যে পদ্ধতিতে এই লব্ধি ভেক্টর বাহির করা হয় তাহাকে বলে **ভেক্টরের সংযোজন** (Composition)। বিপরীতার্থে, একটি ভেক্টর ভাঙিয়া কয়েকটি ভেক্টরে পরিণত করা যায়, যাহাদের লব্ধি প্রথমোক্ত ভেক্টর। এই পদ্ধতিকে বলে **ভেক্টরের বিয়োজন** (Resolution)।

চিত্র নং 47-এ তিনটি ভেক্টর $\overrightarrow{AA_1}$, $\overrightarrow{BB_1}$ $\overrightarrow{CC_1}$ দেখান হইয়াছে। চিত্র নং



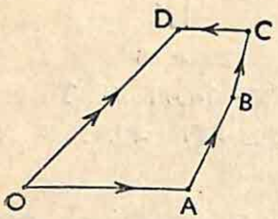
চিত্র নং 47



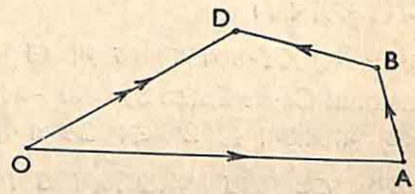
চিত্র নং 48

48-এ উহাদের সংযোজন দেখান হইয়াছে। $\overrightarrow{AA_1}$-এর সমান ও সমান্তরাল টানা হইল $\overrightarrow{OA}$; A বিন্দু হইতে $\overrightarrow{BB_1}$-এর সমান ও সমান্তরাল করিয়া $\overrightarrow{AB}$ টানা হইল। B বিন্দু হইতে $\overrightarrow{CC_1}$-এর সমান ও সমান্তরাল করিয়া $\overrightarrow{BC}$ টানা হইল। এইবার

OC যোগ করা হইল। এখন, $\overrightarrow{OC}$ হইবে এই তিন ভেক্টরের লব্ধি। চিত্র নং 49-এ $\overleftrightarrow{OD}$ একটি ভেক্টর; ইহাকে বিয়োজিত করিতে হইবে। O হইতে ভিন্ন পথে যে কোনও দুই, তিন বা ততোধিক সরলরেখা এমনভাবে অংকিত করা হইল যাহাতে শেষ রেখার শেষ বিন্দু D হয়। এখানে উহারা হইতেছে OA, AB, BC, CD; সুতরাং $\overrightarrow{OD}=\overrightarrow{OA}+\overrightarrow{AB}+\overrightarrow{BC}+\overrightarrow{CD}$; ভেক্টর OD বিয়োজিত হইয়া $\overrightarrow{OA}$, $\overleftrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{BC}$, এবং $\overleftrightarrow{CD}$ ভেক্টরে পর্যবসিত হইয়াছে। চিত্র নং 50-এ ঐ একই ভেক্টর $\overrightarrow{OD}$-কে



চিত্র নং 49

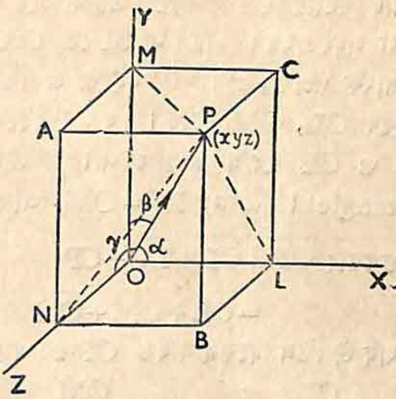


চিত্র নং 50

বিয়োজিত করিয়া $\overrightarrow{OA}$, $\overleftrightarrow{AB}$ এবং $\overrightarrow{BD}$ ভেক্টরে পর্যবসিত করা হইয়াছে। আর, এই ভেক্টরগুলি একই তলে থাকিতে পারে, আবার নাও থাকিতে পারে। চিত্র নং 46-এ ভেক্টর $\overrightarrow{OA}$-কে যে কোনও দুই নির্দিষ্ট দিকে বিয়োজিত করা হইয়াছে। এখানে OP-র প্রাথমিক বিন্দু O-র মধ্য দিয়া দুইটি পরস্পর লম্ব OX এবং OY টানা হইল। এখন, P-বিন্দু হইতে OX-এর উপর PN লম্ব ও OY-এর উপর PM লম্ব টানা হইল। এখন $\overrightarrow{ON}$ এবং $\overrightarrow{NP}$ যদি দুইটি ভেক্টর মনে করা হয় তবে $\overrightarrow{OP}=\overrightarrow{ON}+\overrightarrow{NP}$। এখানে ভেক্টর $\overrightarrow{OP}$-র OX ও OY, **দুইটি পরস্পর লম্বদিকে বিয়োজিত ভেক্টর** $\overrightarrow{ON}$, $\overrightarrow{NP}$। এই দুইটি বিয়োজিত ভেক্টরকে বলে ঐ দুই দিকের উপাংশ, আর যদি $\angle PON = \theta$ হয়, আর যদি N হইতে OP-র উপর আপতিত লম্ব হয় NA, তবে $OA = ON \times \cos\theta$, $AP = PN \sin\theta = PN \cos\alpha$ [যদি $\angle POM = \alpha$ হয়]। সুতরাং $\overrightarrow{OP}=\overrightarrow{ON}\cos\theta+\overrightarrow{NP}\cos\alpha=\overrightarrow{OP}$-র ON-দিকের উপাংশ $\times \cos\theta +$ OP-র $\overleftrightarrow{OM}$ দিকের উপাংশ $\times \cos\alpha$। আবার চিত্র নং 46 হইতে, $\cos\theta=\dfrac{ON}{OP}$; $\cos\alpha=\dfrac{PM}{OP}$। এই দুইটি অনুপাত (ratio)-এর সাহায্যে OX ও OY-দিক্‌দ্বয়ের আপেক্ষিকে ভেক্টর-$\overrightarrow{OA}$-র দিক সুস্পষ্টভাবে প্রকাশ করা যায়। ধর, $\cos\theta = l$, $\cos\alpha = m$।

এই l ও m-কে বলা হয় ভেক্টর $\overleftrightarrow{OA}$-র যথাক্রমে OX ও OY দিকের সহিত **দিক কোসাইন** (Direction Cosine)। তাহা হইলে, $\overrightarrow{OP} = l\overrightarrow{ON} + m\overrightarrow{OM}$.

যদি ভেক্টর $\overrightarrow{OP}$ তল XOY-এর উপর অবস্থিত না হয়, তবে ত্রিমাত্রিক কার্টেসীয় নির্দেশতন্ত্রের সাহায্য লইতে হয়। চিত্র নং 51-তে ইহা দেখান হইয়াছে।



চিত্র নং 51

ধর, $\overrightarrow{OP}$ একটি ভেক্টর। O-কে মূলবিন্দু করিয়া পরস্পর তিনটি লম্ব (orthogonal) OX, OY, OZ টানা হইল। ধর, OP-র সহিত OX, OY, OZ দিকের অন্তর্ভুক্ত কোণ যথাক্রমে α, β, γ এবং $\cos\alpha = l$, $\cos\beta = m$, $\cos\gamma = n$।

P-বিন্দু হইতে তিনটি অক্ষের উপর তিনটি লম্ব PL, PM ও PN টানা হইল।

তাহা হইলে $\overrightarrow{OP}$-র ঐ তিন দিকে উপাংশ যথাক্রমে $\overrightarrow{OL}, \overrightarrow{OM}, \overrightarrow{ON}$। এই উপাংশগুলি দ্বারাই আমরা P বিন্দুর অবস্থিতি নির্ণয় করি। যদি $OL = x$, $OM = y$ এবং $ON = z$ হয় তবে (x, y, z) নির্দেশাংক দ্বারা P বিন্দুর অবস্থিতি জানা যায়।

2·9. নির্দেশাংক দ্বারা ভেক্টরের প্রকাশ (Representation of a Vector by Co-ordinates):

একটি ভেক্টর উহা যে বিষয়েই হউক না কেন, যেমন সরণ, বেগ, ত্বরণ, বল ইত্যাদি—উহা চিত্র নং 46-এ দৃষ্ট তীরচিহ্ন যুক্ত সরলরেখা OP দ্বারা প্রকাশিত হয়। এইবার, O-কে মূলবিন্দু করিয়া X'OX, YOY', দুইটি অক্ষ (দুই প্রধান দিকমুখী) টানা হইল। মনে কর, P বিন্দুর নির্দেশাংক (x, y); আবার এই ভেক্টরের প্রারম্ভিক বিন্দু 'O'-র নির্দেশাংক (o, o)। এই দুই নির্দেশাংক $[(o, o); (x, y)]$ দ্বারা ভেক্টর $\overrightarrow{OP}$-কে প্রকাশ করা যায়। $\overrightarrow{OP}$-র মান হইবে $\sqrt{x^2+y^2}$; $\overrightarrow{OP}$-র দিক X ও Y-এর সাপেক্ষে দুই দিককোসাইন, যথাক্রমে $\frac{ON}{OP} = \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}$, $\frac{OM}{OP} = \frac{y}{\sqrt{x^2+y^2}}$ দ্বারা সম্পূর্ণভাবে নির্দিষ্ট করা যায়।

আর, চিত্র নং 46 হইতে দেখা যাইতেছে, $\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{ON} + \overrightarrow{NP}$।

সমীকরণ অনুযায়ী, $OP = l.\,ON + m.\,NP$।

$\left[\text{এখানে, } l = \frac{ON}{OP}, m = \frac{NP}{OP}\right]$। সুতরাং ভেক্টরের প্রাথমিক ও অন্তিম বিন্দুর নির্দেশাংক যথাক্রমে (o, o), (x, y) দ্বারা ভেক্টর $\overrightarrow{OP}$-কে সম্পূর্ণভাবে প্রকাশ করা যায়।

যদি ভেক্টর $\overrightarrow{OP}$ তল XY-এর বাহিরে অবস্থিত হয় তবে ত্রিমাত্রিক নির্দেশাংকের সাহায্য লইতে হয়। চিত্র নং 51 তে OX, OY, OZ তিনটি প্রধান দিক; P-র নির্দেশাংক (x, y, z); P হইতে ঐ তিন দিকের **অভিক্ষেপ** (Projection) যথাক্রমে OL, OM, ON। ধর, P হইতে XY-তলের উপর লম্ব টানা হইল PC; CM ও CL যোগ করা হইল। তাহা হইলে OLCM একটি আয়তক্ষেত্র (rectangle)। এখন, LC = OM, আবার AM = CP = ON।

$$\text{সুতরাং } \overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OL} + \overrightarrow{LC} + \overrightarrow{CP}$$
$$= \overrightarrow{OL} + \overrightarrow{OM} + \overrightarrow{ON}$$

যদি ঐ তিন দিকের সহিত OP-র অন্তর্ভুক্ত কোণ হয় যথাক্রমে α, β, γ, তবে

$$\cos\alpha = \frac{OL}{OP} = \frac{x}{OP}, \cos\beta = \frac{OM}{OP} = \frac{y}{OP}, \cos\gamma = \frac{ON}{OP} = \frac{z}{OP}.$$

$$\text{যেহেতু } OP^2 = OL^2 + OM^2 + ON^2$$
$$1 = \frac{OL^2}{OP^2} + \frac{OM^2}{OP^2} + \frac{ON^2}{OP^2}$$
$$= \cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma \qquad \cdots\cdots(2{\cdot}9\text{—}1)$$
$$\text{এবং } OP^2 = x^2 + y^2 + z^2 \qquad \cdots\cdots(2{\cdot}9\text{—}2)$$
$$\text{আবার } OP = x\frac{x}{OP} + y\frac{y}{OP} + z\frac{z}{OP}$$
$$= lx + my + nz \qquad \cdots\cdots(2{\cdot}9\text{—}3)$$

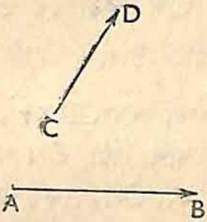
এইভাবে, O ও P-র নির্দেশাংক যথাক্রমে (o, o, o) দ্বারা $\overrightarrow{OP}$-র মান ও দিক (তিন দিক কোসাইন দ্বারা) সম্পূর্ণভাবে প্রকাশিত হইল। এইজন্য ভেক্টর $\overrightarrow{OP}$-কে $[(o, o, o), (x, y, z)]$ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

2·10. ভেক্টরের যোগ (Addition of Vectors):

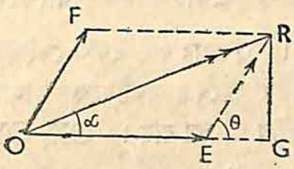
§ 2·6-এ দুই ভেক্টরের যোগ (চিত্রের সাহায্যে) কি করিয়া করিতে হয় তাহা দেখান হইয়াছে। তিনটি ভেক্টরের যোগ করিতে প্রথমে যে কোনও দুইটির যোগফল ভেক্টর বাহির করিয়া সেই ভেক্টরের সহিত তৃতীয় ভেক্টরের যোগ করা যায়। এইভাবে ধাপে ধাপে যে কোনও সংখ্যক ভেক্টরের যোগ করা যায়।

দুই ভেক্টরের বিয়োগ নিম্নলিখিত পদ্ধতি অনুযায়ী করা যায়। যেমন, $a-b=a+(-b)$। সেইভাবে প্রথম ভেক্টর ও দ্বিতীয় (যাহা বিয়োগ করিতে হইবে) ভেক্টরের বিপরীত সমান ভেক্টরের যোগ করিয়া করা যায়। চিত্র নং 46এ $\overrightarrow{ON}+\overrightarrow{NP}=\overrightarrow{OP}$। এখন $\overrightarrow{OP}$ হইতে $\overrightarrow{NP}$ বিয়োগ করিতে হইবে। $\overrightarrow{NP}$ ভেক্টরটির তীরচিহ্ন উল্টামুখী করিয়া দিলে $-\overrightarrow{NP}$ হইল। এইবার $\overrightarrow{OP}$-এর সংগে $-\overrightarrow{NP}$ যোগ করিলে, ভেক্টর $\overrightarrow{ON}$ পাওয়া যাইবে।

জ্যামিতিক পদ্ধতি ঃ চিত্র নং 52-তে দুইটি ভেক্টর $\overrightarrow{AB}$ এবং $\overrightarrow{CD}$ আছে ; উহাদের যোগ করিতে হইবে।



চিত্র নং 52



চিত্র নং 53

প্রথমে AB-র সমান ও সমান্তরাল করিয়া OE টানা হইল ; CD-র সমান ও সমান্তরাল করিয়া OF টানা হইল [চিত্র নং 53]। সামান্তরিক সম্পূর্ণ করা হইল এবং OR যোগ করা হইল। এইবার OE-কে বাড়াইয়া R হইতে লম্ব ফেলা হইল RG। ধর, দুই ভেক্টরের দিকের অন্তর্ভুক্ত কোণ θ।

সুতরাং $\angle REG=\theta$।

স্পষ্টতঃই, চিত্র নং 52-এর $\overrightarrow{AB}+\overrightarrow{CD}=$ চিত্র নং 53-এর $\overrightarrow{OE}+\overrightarrow{ER}=\overrightarrow{OR}$। ধর $\overrightarrow{OE}$ ও $\overrightarrow{OR}$-এর অন্তর্ভুক্ত কোণ α। জ্যামিতি অনুসারে,—

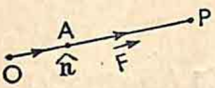
$$
\begin{aligned}
OR^2 &= OG^2+RG^2\\
&= OE^2+EG^2+2OE.EG+RG^2\\
&= OE^2+ER^2+2OE.EG\\
&= OE^2+OF^2+2OE.EG.\cos\theta\\
&= OE^2+OF^2+2OE.OF.\cos\theta \qquad \ldots\ldots(2\cdot10-1)
\end{aligned}
$$

ইহা হইতে $\overrightarrow{OR}$-এর মান পাওয়া গেল। $\overrightarrow{OR}$-এর দিক $\overrightarrow{OE}$-এর দিকের সহিত কোণ α অন্তর্ভুক্ত করিতেছে। এই কোণই লব্ধি বা যোগফল ভেক্টরের দিক-নির্দেশক।

এখন, $\tan \alpha = \frac{RG}{OG} = \frac{RG}{OE+EG} = \frac{RE \sin \theta}{OE+RE \cos \theta}$

বা, $\alpha = \tan^{-1} \frac{RE \sin \theta}{OE+RE \cos \theta} = \tan^{-1} \frac{OF \sin \theta}{OE+OF \cos \theta}$ ।

একক ভেক্টর ও বিশ্লেষণ পদ্ধতি (Unit Vector and Analytical Method) ঃ ধর, $\vec{OP}$ একটি ভেক্টর [চিত্র নং 54]।



চিত্র নং 54

এখন, ভেক্টর $\vec{OP}$-তে একটি একক, একটি দিক ও একটি মান রহিয়াছে। এই মান হইতেছে দৈর্ঘ্য OP. যদি $\vec{OP}$ ভেক্টরকে OP মান দ্বারা ভাগ করা হয় তবে ভাগফলটিতে একটি একক ও একটি দিক থাকিবে। ইহাকে $\vec{OP}$-র দিকে **একক ভেক্টর** বলা হয়। সুতরাং যদি একক ভেক্টর $\hat{r}$ হয়, তবে $OP \times \hat{r} = \vec{OP} = \vec{r}$.

এইরূপে বিভিন্ন দিকের ভেক্টরকে তাহার মান দিয়া ভাগ করিলে সেই সেই দিকের একক ভেক্টর পাওয়া যায়। OX, OY এবং OZ দিকের একক ভেক্টরগুলিকে যথাক্রমে $\hat{i}$, $\hat{j}$ এবং $\hat{k}$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

ধর, $\vec{OP}$ একটি বেগ যাহার মান 25 সে. মি. / সেকেণ্ড r উহা হইতে একটি দৈর্ঘ্য OP_1 কাটিয়া লও, যাহাতে উহা 1 সে. মি. / সেকেণ্ড বেগ প্রকাশ করিতে পারে। এখন 25 সে. মি. / সেকেণ্ড $= 25 \times 1$ সে. মি. / সেকেণ্ড। সুতরাং ভেক্টর $\vec{OP} = OP\,(\vec{OP_1})$। এখানে $\vec{OP_1}$ হইতেছে ঐদিকে ভেক্টর রাশির এককের প্রকাশ। ইহাকে বলে ভেক্টর $\vec{OP}$-র একক ভেক্টর। তাহা হইলে ভেক্টর $\vec{OP} = OP \times$ (একক ভেক্টর)। এখানে OP হইতেছে একটি সংখ্যাবাচক স্কেলার রাশি।

সাধারণ ভেক্টর হইতে আলাদা করিয়া দেখাইবার জন্য উপরের চিহ্ন তীরের বদলে ∧, এই চিহ্ন দেওয়াই রেওয়াজ।

OP-র দৈর্ঘ্য $\hat{r}$-এর দৈর্ঘ্যের r গুণ। সুতরাং $\vec{OP} = \vec{r} = \hat{r}r$;

অনুরূপভাবে, $\vec{OL} = \vec{x} = \hat{i}x$; $\vec{OM} = \vec{y} = \hat{j}y$; $\vec{ON} = \vec{z} = \hat{k}z$.

সুতরাং $\vec{r} = \hat{r} = \hat{i}x + \hat{j}y + \hat{k}z$.

ধর, $\vec{OQ}$ আর একটি ভেক্টর এবং Q-র নির্দেশাংক (x_1, y_1, z_1) ;

আর, OQ-র দৈর্ঘ্য r_1। সুতরাং পূর্ব-দর্শিত যুক্তি অনুসারে

$$\vec{r_1}=\hat{i}x_1+\hat{j}y_1+\hat{k}z_1.$$

আর $\vec{OP}$ ও $\vec{OQ}$ এই দুই ভেক্টরের যোগফল হইবে,

$$\vec{r}+\vec{r_1}=\hat{i}(x+x_1)+\hat{j}(y+y_1)+\hat{k}(z+z_1).$$

যদি এই যোগফল হয় আর একটি ভেক্টর $\vec{R}$, তবে $\vec{R}=\hat{i}(x+x_1)+\hat{j}(y+y_1)+\hat{k}(z+z_1)$, অর্থাৎ OX-দিকে $(x+x_1)$ দৈর্ঘ্যের একটি ভেক্টর, OY-দিকে $(y+y_1)$ দৈর্ঘ্যের একটি ভেক্টর, এবং OZ-দিকের $(z+z_1)$ দৈর্ঘ্যের একটি ভেক্টরের যোগফল বা লব্ধি। সুতরাং $\vec{R}$-এর মান হইবে $\sqrt{(x+x_1)^2+(y+y_1)^2+(z+z_1)^2}$; আর উহার তিন দিক কোসাইন হইবে যথাক্রমে, $\frac{x+x_1}{\sqrt{(x+x_1)^2+(y+y_1)^2+(z+z_1)^2}}$,

$$\frac{y+y_1}{\sqrt{(x+x_1)^2+(y+y_1)^2+(z+z)^2}},\quad \frac{z+z_1}{\sqrt{(x+x_1)^2+(y+y_1)^2+(z+z_1)^2}}.$$

এইভাবে যে কোনও সংখ্যক ভেক্টরের যোগ-বিয়োগ করিতে হইলে শেষ লব্ধি ভেক্টর হইবে এইরূপ—

$$\vec{r_1}+\vec{r_2}-\vec{r_3}+\vec{r_4}+\cdots\cdots$$

$$=\hat{i}(x_1+x_2-x_3+x_4+\cdots)+\hat{j}(y_1+y_2-y_3+y_4+\cdots)$$

$$+\hat{k}(z_1+z_2-z_3+z_4+\cdots)$$

$$=\hat{i}\sum x+\hat{j}\sum y+\hat{k}\sum z.$$

এখানে মনে রাখিতে হইবে যে ভেক্টর $\vec{OP}$ চিত্রে একটি দৈর্ঘ্য হইলেও উহা যে কোনও বিষয়ের ভেক্টরের প্রকাশ হইতে পারে। যেমন, উহা 25 গ্রাম-সে. মি. সেকেণ্ড ভরবেগ হইতে পারে। তখন প্রতি একক ভেক্টর হইবে 1 গ্রাম-সে. মি./সেকেণ্ড। যে স্কেল অনুযায়ী OP-র দৈর্ঘ্য ঠিক করা হইয়াছে, যাহাতে উহা 25 গ্রাম-সে. মি./সেকেণ্ড প্রকাশ করিতে পারে। সেই একই স্কেল অনুযায়ী একক ভেক্টরের এবং $x, x_1, \cdots$ প্রভৃতির দৈর্ঘ্য ঠিক করিতে হইবে।

উদাহরণ 1. An aeroplane travels 200 miles due west, and then 150 miles 60° north of west. Find the resultant displacement.

উত্তর : ধর, দুই সরণ যথাক্রমে $\vec{D_1}, \vec{D_2}$; আর পশ্চিম ও উত্তর দিকে দুই একক ভেক্টর যথাক্রমে $\hat{i}, \hat{j}$ । তাহা হইলে—

$$\vec{D_1} = 200\hat{i} + 0\ \hat{j},$$
$$\vec{D_2} = 150 \cos 60°\hat{i} + 150 \sin 60°\hat{j} ;$$

$\therefore$ লব্ধ সরণ হইবে, $\vec{D} = \vec{D_1} + \vec{D_2}$

$$= (200 + 150\ \cos\ 60°).\hat{i} + 150 \sin 60°\hat{j}$$
$$= 275\hat{i} + 75\sqrt{3}\hat{j} ;$$

$\therefore$ লব্ধ সরণের মান হইবে, $D = \sqrt{275^2 + 75^2.3} = \sqrt{92500} = 50\sqrt{37}$

$= 304$ মাইল (প্রায়)।

উহার দিক যদি পশ্চিম দিকের সহিত θ কোণ উৎপন্ন করে, তবে

$$\theta = \sin^{-1}\frac{75\sqrt{3}}{50\sqrt{37}} = \sin^{-1}\frac{3\sqrt{3}}{2\sqrt{3}} = \sin^{-1}\frac{3\sqrt{111}}{74}.$$

উদাহরণ 2. An object is acted upon by three coplanar forces, $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$, of magnitudes 200 lbs., 150 lbs, and 100 lbs respectively ; the angles between $\vec{A}$ and $\vec{B}$, $\vec{B}$ and $\vec{C}$, $\vec{A}$ and $\vec{C}$ being 30°, 90°, 120° respectively. Find the force needed to prevent the object from moving.

ধর, $\vec{B}$ ও $\vec{C}$-র দিকে একক ভেক্টর যথাক্রমে $\hat{i}, \hat{j}$,

$$\therefore \vec{A} = 200 \cos 30°\ \hat{i} + 200 \cos 120°\hat{j} = 100\sqrt{3}\ \hat{i} - 100\hat{j}\ ;$$

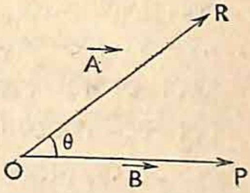
$$\vec{B} = 150\ \hat{i} + 0\ \hat{j};\quad \vec{C} = 0\hat{i} + 100\ \hat{j}$$

$\therefore$ লব্ধ বল, $\vec{D} = (100\sqrt{3} + 150)\hat{i} = 323\hat{i}$ (প্রায়)।

সুতরাং প্রয়োজনীয় বল হইবে ইহার বিপরীত, অর্থাৎ 323 পাউণ্ড (প্রায়) এবং উহার দিক হইবে $\vec{B}$-র বিপরীত।

2.11. ভেক্টর ও স্কেলারের গুণন : উপরে দেখিয়াছ, ভেক্টর $\vec{r}=\hat{r}\ r$; ইহা একটি স্কেলার ও ভেক্টরের গুণফল, অর্থাৎ একক ভেক্টর $\hat{r}$ ও স্কেলার r-এর গুণফল। ইহা সাধারণ দুই স্কেলারের গুণফলের মতন, কোনও জটিলতা নাই।

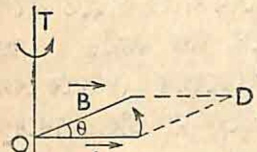
দুই ভেক্টরের গুণফল—(i) **স্কেলার-গুণফল :** ধর, দুইটি ভেক্টর $\vec{A}$ ও $\vec{B}$। উহাদের গুণন দুই প্রকারে করা যায়। এক প্রকার হইল, উহাদের যে কোনও একটির মান ও উহার দিকে অপরটির বিয়োজিত অক্ষ তলের মান, এই দুই মানের গুণফল। এই গুণফল একটি স্কেলার রাশির মান। চিত্র নং 55-তে $\vec{A}$ এবং $\vec{B}$ দুইটি ভেক্টর এবং ইহাদের অন্তর্ভুক্ত কোণ θ দেখান হইতেছে। ইহাদের স্কেলার-গুণফল দুইটি ভেক্টরের মাঝে একটি ফুটকি দিয়া লিখিতে হয়। যেমন $\vec{A}.\vec{B}$ এবং এই গুণফল হইবে একটি স্কেলার রাশির মান যাহা $AB\cos\theta$। এই প্রকারের গুণনকে বলে **স্কেলার গুণন**।



চিত্র নং 55

(ii) **ভেক্টর-গুণফল :** উপরের একই দুই ভেক্টর $\vec{A}$ ও $\vec{B}$-র ভেক্টর-গুণফল হইল ভেক্টর $\vec{A}$-র মান ও $\vec{A}$-র লম্বদিকে B-র বিয়োজিত অংশের মান, এই দুই মানের গুণফল। এই গুণনের সাংকেতিক চিহ্ন $\vec{A}\times\vec{B}$। সুতরাং $\vec{A}\times\vec{B}=AB\sin\theta$.

এই গুণফল একটি ভেক্টর রাশি; উহার মান $AB\sin\theta$ এবং উহার দিক $\vec{A}$ ও $\vec{B}$-এর অন্তর্ভুক্ত তলের লম্বের দিক। কিন্তু উহা পার্শ্ববর্তী চিত্র অনুযায়ী কাগজের তলের লম্ব বরাবর উপরমুখী এবং নিম্নমুখী —উভয় দিকেই হইতে পারে। পার্শ্ববর্তী চিত্রে উহা কোন্ দিকে হইবে? এ সম্বন্ধে এই নিয়ম গৃহীত হইয়াছে যে প্রথম ভেক্টরকে দ্বিতীয় ভেক্টরের দিকে আনিতে যেদিকে ঘুরাইতে হয় তাহা যদি দর্শকের নিকট ঘড়ির কাঁটা ঘুরিবার দিকের বিপরীত হয় তবে গুণফল-ভেক্টরের দিক ঐ দুই ভেক্টরের তল হইতে দর্শকের দিকে। আর বিপরীত দিকে হইলে উহা যে দিকে দর্শক তাহার বিপরীত দিকে।



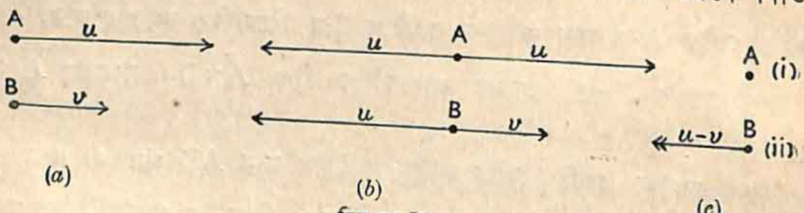
চিত্র নং 56

স্পষ্টতঃই $\vec{A}\times\vec{B}=\vec{T}$ উপরমুখী। আবার, $\vec{B}\times\vec{A}=\vec{T}$ নিম্নমুখী (চিত্র নং 56);

$\therefore\ \vec{A}\times\vec{B}=-\vec{B}\times\vec{A}$.

2.12. আপেক্ষিক বেগ (Relative Velocity) : § 2.2-এ স্থিতি ও গতি প্রসঙ্গে পড়িয়াছ যে কোনও স্থিতি বা গতি চরম নহে। প্রত্যেক বস্তুর স্থিতি বা গতি আর কোনও একটি বস্তুর আপেক্ষিকে। সাধারণতঃ কোনও বস্তু স্থিতিশীল না গতিশীল তাহা নির্ভর করে, পৃথিবী বা পৃথিবী পৃষ্ঠের সহিত সংযুক্ত কোনও বস্তুর আপেক্ষিকে উহার অবস্থিতি স্থির থাকে কি বদলায় তাহার উপর। অনেক সময় একটি স্থিতিশীল বা গতিশীল বস্তুর আপেক্ষিকে কোনও বস্তুর গতি আছে কি না তাহা প্রকাশ করার প্রয়োজন হইয়া পড়ে। বস্তুতঃ কোনও ব্যক্তি তাহার নিজের কোনও গতি আছে কি না তাহা বুঝিতে হইলে কোনও স্থির বস্তুর দিকে দৃষ্টি রাখিতে হইবে। যদি সে দেখে যে ঐ স্থির বস্তুটি যেন কোনও দিকে চলিতেছে, তাহা হইলে সে বুঝিতে পারে যে আসলে সে নিজেই তাহার বিপরীত দিকে সেই মানের বেগ সহ চলিতেছে। এইজন্যই চলন্ত ট্রেনের আরোহী দেখে যে গাছপালা সব বিপরীত দিকে ট্রেনের বেগের সমান চলিতেছে। বিপরীত দিক হইতে অগ্রসরমান ট্রেন খুব দ্রুত আসিতেছে মনে হইবে। একই কারণে কোনও ব্যক্তি খাড়াভাবে পড়িতেছে এমন বৃষ্টির মধ্যে দ্রুত ছুটিলে দেখিবে বৃষ্টির ফোঁটাগুলি খাড়াভাবে নয়, তির্যকভাবে আসিয়া তাহার মুখে লাগিতেছে।

পদার্থবিদ্যার গতিতত্ত্বে দেখা যায় যে যদি দুইটি বস্তু দুইটি নির্দেশ ফ্রেমে বিভিন্ন

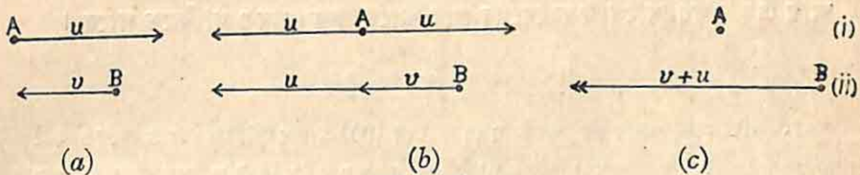


চিত্র নং 57

গতিবেগে চলিতে থাকে তবে তাহাদের আপেক্ষিক গতিবেগ বাহির করিতে হইলে একটি বস্তুকে স্থির কল্পনা করিতে হইবে এবং তাহার সাপেক্ষে অন্য বস্তুটির বেগের মান ও দিক যাহা হইবে, তাহাই দ্বিতীয় বস্তুর আপেক্ষিক গতিবেগ। কিন্তু যে বেগ প্রয়োগ করিয়া প্রথম বস্তুটিকে স্থির করা হইল, দ্বিতীয় বস্তুটিকে বা তাহার নির্দেশ ফ্রেমে যদি সেই গতিবেগ প্রয়োগ করা না হয়, তবে ঐ দুইটি বস্তুর অথবা তাহাদের নির্দেশ ফ্রেমের মধ্যে পূর্বেকার আপেক্ষিক গতিবেগ বজায় থাকে না ; ইহাও গতিতত্ত্বের আর একটি নিরীক্ষা।

মনে কর, A এবং B দুইটি রেলগাড়ী সমান্তরাল লাইন ধরিয়া একই দিকে u এবং v গতিবেগে যাইতেছে [চিত্র নং (57 *a*)] ; এখন A-র আপেক্ষিকে B-এর আপাতঃ গতিবেগ (relative velocity) বাহির করিতে হইলে A-কে স্থির মনে করিতে হইবে। সে-কারণ A-র উল্টাদিকে u বেগ প্রয়োগ করিতে হইবে এবং সঙ্গে সঙ্গে B-এর

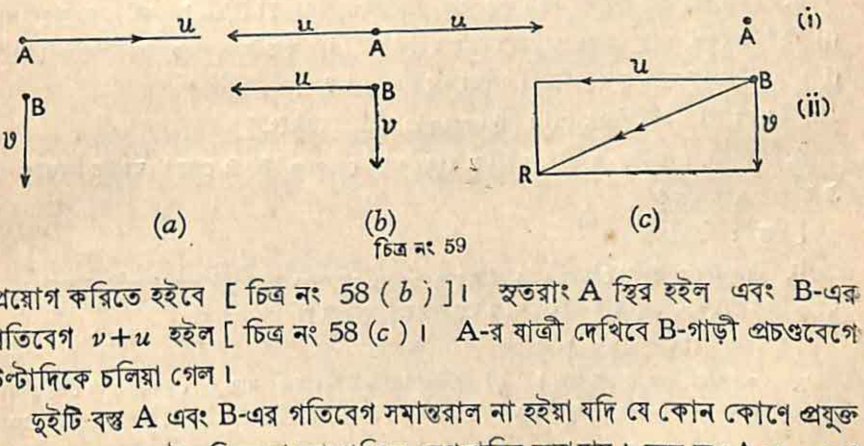
উপরেও সমান্তরাল u বেগ প্রয়োগ করিতে হইবে [চিত্র নং 57 (b)]। ফলে A স্থির



চিত্র নং 58

হইয়া গেল এবং B-এর পিছন দিকে $u-v$ গতিবেগ রহিল ঐ-গাড়ী হইতে কোন যাত্রী তাকাইলে দেখিবে B-গাড়ী $u-v$ গতি বেগে পিছাইয়া যাইতেছে। [চিত্র নং 58 (c)] B-গাড়ী হইতে A-গাড়ীকে দেখিলে মনে হইবে যেন A-গাড়ীটি $u-v$ বেগে সামনের দিকে আগাইয়া যাইতেছে।

যদি A এবং B বিপরীতগামী হয় [চিত্র নং 58 (a)], তাহা হইলেও একই যুক্তি অনুসারে A-র সাপেক্ষে B-এর গতি বাহির করিতে গেলে A-কে উল্টা গতিবেগ প্রয়োগ করিয়া স্থির করিতে হইবে। সঙ্গে সঙ্গে সমান ও সমান্তরাল গতিবেগ B-তে



চিত্র নং 59

প্রয়োগ করিতে হইবে [চিত্র নং 58 (b)]। সুতরাং A স্থির হইল এবং B-এর গতিবেগ $v+u$ হইল [চিত্র নং 58 (c) । A-র যাত্রী দেখিবে B-গাড়ী প্রচণ্ডবেগে উল্টাদিকে চলিয়া গেল।

দুইটি বস্তু A এবং B-এর গতিবেগ সমান্তরাল না হইয়া যদি যে কোন কোণে প্রযুক্ত হয়, সেস্থলেও একই যুক্তিদ্বারা আপেক্ষিক বেগবাহির করা যায়। মনে কর A-র u বেগ এবং B-এর v বেগের মধ্যে একটি সমকোণ হইয়াছে [চিত্র নং 59 (a)]। A-র সাপেক্ষে B-এর বেগ বাহির করিতে হইলে A-কে উল্টা গতিবেগের সাহায্যে স্থির করিতে হইবে এবং ঐ উল্টা u-গতিবেগ B-তে প্রয়োগ করিতে হইবে [চিত্র নং 59 (b)]। সুতরাং A স্থির হইল, কিন্তু B-এর উপর দুইটি বেগ u এবং v সরল কোণে প্রযুক্ত হইল। এই দুইটি বেগের লব্ধি (resultant) যদি R হয়, তবে A হইতে B-কে দেখিলে মনে হইবে B-এর আপাতঃ বেগের দিক ও মান R [চিত্র নং 59 (c)]। সমকোণ না হইয়া যে কোন কোণে হইলেও এইরূপ লব্ধি দ্বারা আপেক্ষিক বেগ বাহির করা যায়।

আপেক্ষিক ত্বরণ (Relative Acceleration): কোনও বস্তু সাপেক্ষে আর এক বস্তুর আপেক্ষিক বেগের ন্যায় আপেক্ষিক ত্বরণও থাকিতে পারে।

প্রশ্নাবলী

1. 100 গ্রাম ভরবিশিষ্ট একটি বস্তুর ভরবেগ 1000 গ্রাম-সেন্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ড হইলে উহার গতিবেগ কত? স্থির অবস্থা হইতে 10 সেকেণ্ড সময়ে যদি বস্তুটির ঐ ভরবেগ হইয়া থাকে তবে উহার ত্বরণ কত এবং উহার উপর কি বল কাজ করিয়াছে?

[হাঃ সেকেণ্ডারী—1961]

[উত্তর : 10 cm/sec ; 1 cm/sec² ; 100 dynes.]

2. 100 ডাইন বল 10 গ্রাম ভরের একটি বস্তুর উপর 5 সেকেণ্ড কাল কাজ করিল। বস্তুটির ভরবেগের পরিবর্তন বাহির কর। ঐ সময়ে বস্তুটির সরণ কত হইয়াছে।

[উত্তর : 500 gm-cm/sec² ; 125 cm.]

[হাঃ সেকেণ্ডারী—1967]

3. ত্রিমাত্রিক নির্দেশ তন্ত্রের সাহায্যে একটি বস্তুর অবস্থিতি নির্ণয়ের সুবিধা আলোচনা কর। একটি কার্টেসীয় নির্দেশ তন্ত্রে একটি বিন্দুর নির্দেশাংক x, y, z. মূলবিন্দু হইতে ঐ বিন্দুটির দূরত্ব কত?

4. 45 মাইল প্রতি ঘণ্টায় একটি বস্তু চলা কালে উহার উপর 11 ft/sec² একটি মন্দন প্রযুক্ত হইল। (i) দুই সেকেণ্ড পরে উহার গতিবেগ কত হইবে? (ii) কত সময় পর বস্তুটি থামিয়া যাইবে? (iii) মন্দন প্রযুক্ত হইবার পর কতদূর যাইয়া বস্তুটি থামিবে?

[উত্তর : (i) 44 ft/sec, (ii) 6 seconds, (iii) 198 ft.]

5. স্থির অবস্থা হইতে একটি বস্তু ত্বরিত হইয়া অষ্টম সেকেণ্ডে 150 ft গেল। বস্তুটির সমত্বরণ হইলে ঐ ত্বরণের মান কত?

[উত্তর : 20 ft/sec².]

6. একটি বস্তু দ্বিতীয় সেকেণ্ডে 24 মিটার এবং চতুর্থ সেকেণ্ডে 100 মিটার পথ অতিক্রম করে। যদি বস্তুটি সমত্বরণযুক্ত হয়, তবে পঞ্চম সেকেণ্ডে বস্তুট কতটা যাইবে?

[উত্তর : 138 metres.]

7. ভেক্টর রাশি কাহাকে বলে? এই রাশির কয়েকটি উদাহরণ দাও। স্কেলার এবং ভেক্টর রাশির পার্থক্য কি? একটি বস্তুর পূর্বদিকে সরণ 300 মিটার এবং তৎপর উত্তর দিকে সরণ 400 metre হইয়াছে। তাহার সাকুল্য সরণ কত?

8. দুইটি ভেক্টর রাশি $\vec{P}$ এবং $\vec{Q}$-এর অন্তর্গত কোণ যদি θ হয়, তবে তাহাদের লব্ধি কত? একটি চিত্র দ্বারা বোঝাও।

9. একাধিক তলে অবস্থিত 4টি ভেক্টর রাশি রহিয়াছে। তাহাদের লব্ধি কি পদ্ধতিতে বাহির করা সম্ভব?

10. একক ভেক্টর কাহাকে বলে? একটি ভেক্টর $\vec{P}$-এর সংগে তাহার একক ভেক্টরের সম্বন্ধ কি?

11. যদি ত্রিমাত্রিক কার্টেসীয় নির্দেশ তন্ত্রে একক ভেক্টর i, j, k হয়, তবে ঐ তন্ত্রে একটি ভেক্টর R-কে একক ভেক্টরের সাহায্যে নির্ণয় কর।

12. প্রমাণ কর যে নিম্নলিখিত ভেক্টরগুলি একটি সমকোণী ত্রিভুজের বাহু নির্ণয় করিতেছে। $A = 2i - j + k$, $B = i - 3j - 5k$, $C = 3i - 4j - 4k$.

[কলি. বিশ্ব—1961]

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

জাড্য, বল, নিউটনের গতিসূত্রাবলী

3.1. **জাড্য ও বল** (Inertia and Force) : প্রত্যেক বস্তুরই একটি স্বাভাবিক ধর্ম এই যে, স্থির থাকিলে উহা চিরকাল স্থিরই থাকিবে। আবার যদি উহা কোনও নির্দিষ্ট দিকে সমবেগে একবার চলিতে থাকে তবে বাহির হইতে কোন বাধা না পাইলে উহা ঐভাবেই চিরকাল চলিবে। এই ধর্মকে বলে **জাড্য**। যে কোনও বস্তুর স্থিতিশীল অবস্থার অথবা সমবেগে গতিশীল অবস্থার পরিবর্তন কেবল বাহিরের কোন প্রচেষ্টা দ্বারা পরিবর্তিত হইতে পারে। এই পরিবর্তন বলিতে বস্তুটির (i) স্থিতিশীল অবস্থা হইতে গতিশীল হইতে পারে, অথবা (ii) সমবেগে গতিশীল অবস্থায় উহার বেগ দিক্ না বদলাইয়া বৃদ্ধি বা হ্রাস হইতে পারে, অথবা (iii) উহার বেগের মান না বদলাইয়া কেবল দিক্ পরিবর্তনও হইতে পারে। এই অবস্থার পরিবর্তন যে প্রচেষ্টার দ্বারা সম্ভব হয় তাহাকে বলে **বল** (Force)। সুতরাং বল হইতেছে এমন একটি প্রচেষ্টা, যাহা কোনও পার্থিব বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইলে উহার স্থিতিশীল বা সমবেগে গতিশীল অবস্থার বা এককথায় জাড্য অবস্থার পরিবর্তন করে বা করিতে চায়। একটি বলের (i) একটি প্রয়োগ বিন্দু (point of application), (ii) একটি প্রয়োগ দিক্, এবং (iii) একটি মান আছে। সেজন্য বল একটি ভেক্টর রাশি।

3.2. **নিউটনের গতিসূত্রাবলী** (Newton's Laws of Motion) : বিশ্ববিশ্রুত ব্রিটিশ বিজ্ঞানী স্যার আইজাক নিউটন তিনটি বিখ্যাত সূত্র আবিষ্কার করেন। সাধারণ বস্তুর গতির প্রকৃতি লক্ষ্য করিয়া এই সূত্রাবলী আবিষ্কৃত হয় এবং গতিবিজ্ঞান (Dynamics) সমগ্রভাবে ইহাদের উপর নির্ভর করিয়া গঠিত। নিম্নে তিনটি সূত্র দেওয়া হইল :

প্রথম সূত্র—যদি কোনও বস্তু স্থির অবস্থায় বা কোনও সরলরেখা ধরিয়া সমবেগে সচল অবস্থায় থাকে, তবে বাহির হইতে কোনও বল উহার উপর প্রযুক্ত না হওয়া পর্যন্ত উহা ঐ অবস্থাতেই (স্থির বা ঐ একই দিকে সমবেগে সচল অবস্থায়) থাকিবে।

দ্বিতীয় সূত্র—কোনও বস্তুর ভরবেগের সময়ের সহিত পরিবর্তনের হার উহার উপর প্রযুক্ত বলের সহিত সমানুপাতিক এবং যেদিকে বল প্রযুক্ত হয় সেই দিকেই এই পরিবর্তন ঘটে।

তৃতীয় সূত্র—প্রত্যেক ক্রিয়ারই সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া আছে।

3·3. **প্রথম সূত্রের ব্যাখ্যা** : এ সম্বন্ধে প্রথম সূত্রের দুইটি অংশ নবম শ্রেণীতে পড়িয়াছ। প্রথম অংশ বলিতেছে যে, কোনও বস্তু নিজের প্রচেষ্টায় স্থির অবস্থা বা

গতিশীল অবস্থা বদলাইতে পারে না। অর্থাৎ ঐ বস্তু ঐ দুই অবস্থার যে কোনও অবস্থাকে চিরন্তন করিবার চেষ্টা করে। ইহাই উহার ধর্ম। এই ধর্মকে বলে জাড্য (inertia)। স্বভাবতঃই অবস্থানুযায়ী জাড্য দুই প্রকারের—স্থিতি জাড্য ও গতি জাড্য। এই তথ্যের দ্বিতীয় অংশ সোজাসুজি পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায় না। প্রথম অংশ আমরা সাধারণ অভিজ্ঞতা হইতে উপলব্ধি করিতে পারি। দ্বিতীয় অংশ প্রমাণে অসুবিধা হইল যে, কোনও বস্তু যখন শূন্যে কোনদিকে সমবেগে চলিতে থাকে তখন পৃথিবীর আকর্ষণ তাহার উপর প্রযুক্ত হয়; তাহার ফলে উহার গতি পরিবর্তিত হয়। যখন একটি গোলক কোনও সমতলের উপর দিয়া সমবেগে চলিতে থাকে তখন পৃথিবীর আকর্ষণ উহার গতির দিক্ বা বেগ পরিবর্তন করিতে পারে না। কিন্তু সমতলের উপর ঘর্ষণ (friction)-জনিত বলের ফলে ঐ গতির বেগ কমিয়া আসে এবং অবশেষে বস্তুটি স্থির হইয়া যায়। তবে দেখা যায়, সমতল যত মসৃণ হয় অর্থাৎ ঘর্ষণ বল যত কম হয়, বস্তুটির বেগ তত অল্প করিয়া হ্রাস পায় এবং উহা তত বেশী দূর গিয়া থামে। যদি সমতল মসৃণ বরফে ঢাকা থাকে আর বস্তুটি মসৃণ কাচের গোলক হয়, তবে উহা বহু দূর গিয়া তবে স্থির হইবে। সুতরাং ধরা যায়, যদি ঘর্ষণ বল একেবারেই না থাকে, তবে বস্তুটি বরাবর একই দিকে সমবেগে চলিতে থাকিবে।

প্রথম সূত্রের দ্বিতীয় অংশ হইতে বল কি এবং উহার প্রয়োগের ফল কি, সে সম্বন্ধে আমরা সঠিক ধারণা করিতে পারি। (i) আমরা ধারণা করিতে পারি যে কোনও বল স্থির বস্তুর উপর প্রয়োগ করিলে উহা বস্তুটির স্থির অবস্থার পরিবর্তন করে বা করার চেষ্টা করে অর্থাৎ উহাকে সচল করে বা করিবার চেষ্টা করে। আসলে, যে কোনও বল যে কোনও বস্তুকে সচল করিবেই, যদি বস্তুটি অন্য কোনও বলের প্রভাবাধীন না থাকে। কিন্তু সমস্ত বস্তুই কোনও না কোনও ভূমির উপর থাকিবেই এবং কোনও বলের প্রয়োগের ফলে উহা চলিতে উপক্রম করিলেই ঘর্ষণ বল বিপরীত দিকে আপনা আপনি প্রযুক্ত হইবেই। ফলে প্রযুক্ত বলকে বিপরীতধর্মী বল থামাইয়া দেয়। আবার একটি শক্ত দেওয়ালের কোনও স্থানে বল প্রয়োগ করিলে সেই অংশ চলমান হয় না। ইহার কারণ ঘর্ষণ নয়, স্থিতিস্থাপকতা। এ সম্বন্ধে সপ্তম পরিচ্ছেদে বিস্তারিত পড়িবে। (ii) আবার আমরা ধারণা করিতে পারি যে, কোনও বস্তু যদি সমবেগে কোনও দিকে চলিতে থাকে এবং উহার উপর বাহির হইতে সেইদিকে বা বিপরীত দিকে বল প্রয়োগ করা হয় তবে উহার বেগ যথাক্রমে বাড়িবে বা কমিবে। অর্থাৎ উহাতে ত্বরণ সৃষ্টি হইবে। আর যদি বল উহার উপর অন্য কোনও দিকে প্রযুক্ত হয় তবে বস্তুটির বেগের মান বাড়িতে পারে, কমিতেও পারে; আবার একই থাকিতে পারে। (iii) বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল বাহিরের হইতে হইবে। বস্তুর ভিতরের ভিন্ন ভিন্ন অংশের মধ্যে কোনও সংঘাত বা ঘর্ষণের জন্য কোনও বল সৃষ্টি হইলে তাহা ঐ বস্তুর স্থির অবস্থার বা সমবেগে গতিশীল

অবস্থার কোনও পরিবর্তন সাধন করিতে পারিবে না। চলমান গাড়ীর ভিতরে বসিয়া উহাকে পিছনদিকে ধাক্কা দিলে উহা থামিবে না। কিন্তু বাহির হইতে ধাক্কা দিয়া উহাকে থামানো যাইতে পারে।

সুতরাং যাহার দ্বারা কোনও বস্তুর স্থির অবস্থার পরিবর্তন করা যায় বা উহার বেগ পরিবর্তন (মান অথবা দিক্ অথবা উভয়ই) করা যায় বা করার প্রচেষ্টা করা যায় তাহাই **বল** (force); এবং বল কোনও বস্তুতে প্রযুক্ত হইলে উহাতে ত্বরণ সৃষ্টি হয়। কোন বস্তুতে কত বল প্রযুক্ত হইলে কোন্ দিকে কত ত্বরণ সৃষ্টি হইবে তাহা দ্বিতীয় সূত্রে বর্ণিত হইয়াছে।

3·4. দ্বিতীয় সূত্রের ব্যাখ্যা : প্রথম সূত্র অনুযায়ী কোনও বস্তুর উপর কোনও বল প্রযুক্ত হইলে উহার বেগ ঐ দিকে ক্রমাগত বাড়িতে থাকে। তাহাতে উহার ভর ও বেগের গুণফল বা **ভরবেগ** (momentum) ঐ দিকে বাড়িতে থাকে। এই ভরবেগ কি ? উহার তাৎপর্য্য কি ?

ভরবেগ—কোনও বস্তুর ভরবেগ উহার ধাক্কা দিবার ক্ষমতার পরিমাণ। উহাকে বস্তুর **সমগ্র গতি** (total motion)ও বলা হয়। একটি দেওয়ালের উপর একটি হাল্কা গোলক দ্রুতবেগে আসিয়া ধাক্কা দিলে দেওয়ালের কিছু হয় না। কিন্তু উহার উপর একটি ভারী লরী গোলকের অপেক্ষা কম বেগে আসিয়া ধাক্কা দিলে দেওয়াল ভাঙিয়া যাইতে পারে। প্রথম ক্ষেত্র অপেক্ষা দ্বিতীয় ক্ষেত্রে কি বেশী হইল, যেজন্য দেওয়াল ভাঙিয়া গেল ? দ্বিতীয় ক্ষেত্রে লরীর ভর ও বেগের গুণফল প্রথম ক্ষেত্রের গোলকের ভর ও বেগের গুণফল অপেক্ষা অনেক বেশী। সেজন্যই দেওয়াল দ্বিতীয় ক্ষেত্রে ভাঙিয়া গেল। সুতরাং কোনও গতিশীল বস্তুর বেগ বাড়িলে বা কমিলে উহার ভরবেগও অনুরূপভাবে বাড়িবে বা কমিবে। যদি বস্তুর ভর হয় m এবং কোনও দিকে বেগ হয় v, তবে উহার ভরবেগ হইবে ঐ দিকে mv।

একক ভরের একটি বস্তু একক বেগে চলিলে উহার ভরবেগকে একক ভরবেগ বলে। গতির দিক্ই হইবে ভরবেগের দিক্ এবং ভরবেগ একটি ভেক্টর রাশি। বেগের দিকে নির্দেশিত কোনও স্কেল অনুযায়ী নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের একটি সরলরেখা দ্বারা ইহাকে প্রকাশ করা যায়। যদি ভরের একক হয় 1 গ্রাম, বেগের একক 1 সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড, তবে ভরবেগের একক হইবে 1 গ্রাম-সে. মি./সেকেণ্ড। যদি ভরের একক হয় 1 পাউণ্ড, বেগের একক 1 ফুট/সেকেণ্ড, তবে ভরবেগের একক 1 পাউণ্ড-ফুট/সেকেণ্ড। ইহার আর এক নাম 1 পাউণ্ডেম। যদি একটি বস্তুর ভর হয় 150 গ্রাম, এবং বেগ 6 সে. মি./সেকেণ্ড তবে উহার ভরবেগ $150 \times 6 = 900$ গ্রাম সে. মি./সেকেণ্ড।

দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে, যদি কোনও বস্তুর উপর কোনও বল প্রযুক্ত হয় তবে প্রযুক্ত বলের দিকে উহার বেগ সৃষ্টি হইবে এবং ঐ বেগ উত্তরোত্তর বাড়িতে থাকিবে।

তাহা হইলে, যেহেতু বস্তুটির একটি ভর আছে উহার একটি ভরবেগও আছে (বেগের দিকে) এবং ঐ ভরবেগ ক্রমাগত বাড়িতে থাকিবে। আর সময়ের সহিত ভরবেগ যে হারে বদলাইবে তাহা প্রযুক্ত বলের সহিত সমানুপাতিক। সুতরাং এই সূত্র হইতে বলের পরিমাপ সম্ভব।

3.5. **বলের পরিমাপ (Measurement of Force) :** ধর, একটি বস্তুর ভর m এবং প্রান্তিক বেগ u-সহ চলিতে থাকাকালে উহার উপর একটি নির্দিষ্ট বল P একটি নির্দিষ্ট সময় t ধরিয়া প্রযুক্ত হইল। সুতরাং বস্তুর প্রারম্ভিক ভরবেগ mu এবং প্রথম সূত্র অনুযায়ী বলের দিক্ বরাবর উহার বেগ ক্রমাগত বাড়িতে থাকিবে। ধর, t সেকেণ্ড পরে উহার বেগ হইল v ; সুতরাং তখন উহার ভরবেগ হইবে mv। তাহা হইলে t সেকেণ্ড বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তন হইবে $mv-mu=m(v-u)$ এবং যেহেতু নির্দিষ্ট বল প্রযুক্ত হইয়াছে ; সুতরাং সময়ের সহিত এই পরিবর্তনের হার নির্দিষ্ট হইবে এবং হার হইবে $\frac{m(v-u)}{t}=mf$; এখানে f হইতেছে সৃষ্ট ত্বরণ।

দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে, $P \propto mf$ বা, $P=kmf$ [k একটি ধ্রুবক]

যদি বলের একক এমন স্থির করা হয় যে একক ভরের উপর প্রযুক্ত হইলে উহা একক ত্বরণ সৃষ্টি করিবে, তবে $m=1, f=1$ এবং প্রয়োজনীয় $P=1$, এবং $1=k.1,1$, বা $k=1$; যদি ভর, বল ও ত্বরণ উপরোক্ত তিনটি এককে পরিমাপ করা হয় তবে

$$P=mf \qquad \cdots(3{\cdot}5\text{—}1)$$

বা, বল = ভর × ত্বরণ।

বলের একক—বলের একক বলিতে বুঝায় এমন একটি বল যাহা একক ভরের বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইলে একক ত্বরণ সৃষ্টি করে।

সুতরাং একক বল কি পরিমাণ বল তাহা নির্ভর করে ভর ও ত্বরণের কি একক লওয়া হইয়াছে তাহার উপর। এফ. পি. এস. পদ্ধতি অনুযায়ী একক বল হইতেছে এমন বল যাহা এক পাউণ্ড ভরের উপর প্রযুক্ত হইলে এক ফুট/সেকেণ্ড ত্বরণ উৎপন্ন করে। ইহার নাম এক **পাউণ্ডাল** (Poundal)। সি. জি. এস. পদ্ধতি অনুযায়ী একক বল হইতেছে এমন বল যাহা এক গ্রাম ভরের উপর প্রযুক্ত হইলে এক সে. মি./সেকেণ্ড^2 ত্বরণ উৎপন্ন করে। ইহার নাম এক **ডাইন** (Dyne)।

এই দুই একককে **চরম** (Absolute) একক বলে। কারণ, উহাদের মান গতিসূত্র হইতে নির্ধারিত হইয়াছে এবং বিশ্বের সর্বত্র একই। বলের আর এক জাতীয় একক আছে ; তাহাকে বলে **অভিকর্ষজ একক** (Gravitational Unit)। সে সম্বন্ধে চতুর্থ পরিচ্ছেদে পড়িবে।

যদি কোনও বস্তুর উপর একটি বৃহৎ বল অত্যন্ত কম সময় প্রযুক্ত হয় তবে উহার যে ফল হয় তাহাকে ঐ বলের **ঘাত** (Impulse) বলে। ইহার পরিমাণ হইল

বল × সময়ের গুণফল। নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র অনুযায়ী, বল হইতেছে সময়ের সহিত ভরবেগের পরিবর্তনের হার অথবা $\frac{\text{যে কোনও সময়ে ভরবেগের পরিবর্তন}}{\text{ঐ সময়}}$।

সুতরাং যে কোনও স্বল্প সময়ে প্রযুক্ত ঘাত = ঐ সময়ে ভরবেগের পরিবর্তন। সেজন্য কোনও ক্ষণস্থায়ী বৃহৎ বলের দ্বারা সৃষ্ট ঘাত পরিমাপ করিতে হইলে ঐ সময়ে কত ভরবেগের পরিবর্তন হইল তাহা জানা প্রয়োজন।

পাউণ্ডাল ও ডাইনের পরিমাণ : এক পাউণ্ডাল এক ডাইন অপেক্ষা অনেক বড়। আমরা জানি, এক পাউণ্ড = 453·6 গ্রাম।

সুতরাং এক পাউণ্ডাল = 1 পাউণ্ড × 1 ফুট/সেকেণ্ড^2

= 453·6 গ্রাম × 30·48 সে. মি./সেকেণ্ড^2

= 453·6 × 30·48 গ্রাম সে. মি./সেকেণ্ড^2

= 13825 ডাইন (প্রায়)।

3·6. তৃতীয় সূত্রের ব্যাখ্যা (Explanation of the Third Law) : যদি কোনও বস্তু A আর একটি বস্তু B-র উপর বল প্রয়োগ করে, তাহা হইলে ঐ বল হইবে B-র উপর A-র ক্রিয়া (action); আর নিউটনের তৃতীয় সূত্র অনুযায়ী সংগে সংগে B-বস্তু A-বস্তুর উপর বিপরীত দিকে সমান বল প্রয়োগ করিবে। ইহা হইল A-র উপর B-র প্রতিক্রিয়া (reaction)। এই সূত্র **সর্বদাই** পালিত হইবে। বস্তু দুইটি স্থির থাকিলে অথবা সচল থাকিলে, উহারা সংস্পর্শে থাকিলে অথবা পরস্পর দূরে থাকিলে—যে অবস্থায়ই থাকুক না কেন, একটি আর একটির উপর ক্রিয়া করিলেই, পরেরটি আগেরটির উপর বিপরীত দিকে সমান প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করিবে।

মনে কর, এক ব্যক্তি শক্ত মাটির উপর দাঁড়াইয়া আছে। সে তাহার ওজন পরিমাণ বল পৃথিবীর উপর প্রয়োগ করিতেছে। ইহাই তাহার 'ক্রিয়া'। কিন্তু মাটি শক্ত হওয়ায় তাহার পা মাটিতে ঢুকিয়া যাইতেছে না। সুতরাং পৃথিবীও তাহার উপর সমান বল বিপরীত দিকে (অর্থাৎ উপর দিকে) প্রয়োগ করিতেছে। ইহাই হইল ঐ বলের দ্বারা সৃষ্ট 'প্রতিক্রিয়া'। সে নীচের দিকে বল প্রয়োগ বৃদ্ধি করিলে সংগে সংগে প্রতিক্রিয়াও সমান বৃদ্ধি পাইবে; কমাইলে উহা সমান কমিবে। ইহা স্থৈতিক (static) ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার দৃষ্টান্ত। একটি টেবিলের উপর একটি ওজন রাখিলে একইভাবে ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার উদ্ভব হয়। ওজন বাড়াইয়া দিলে উভয়ই সমান বাড়িতে থাকে। কিন্তু টেবিলের বা মাটির প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করিবার একটি সীমা আছে। তাহার বেশী বল প্রয়োগ করিলে মাটি বা টেবিল তাহাদের সর্বোচ্চ সীমার বেশী বল প্রতিক্রিয়া হিসাবে প্রয়োগ করিতে পারে না। তখন ক্রিয়া ও সর্বোচ্চ প্রতিক্রিয়ার প্রভেদ যে বল তাহা মাটিতে ধ্বস এবং টেবিলে

ভাঙন সৃষ্টি করে। যদি কোনও ভারী লোক নরম বালি মেশানো মাটির উপর দাঁড়ায়, তবে সে ধীরে ধীরে কিছুটা নামিয়া যায়। কারণ, ঐ মাটির প্রতিক্রিয়া প্রয়োগ করিবার সর্বোচ্চ সীমা কম ; ব্যক্তির ওজন তাহা অপেক্ষা বেশী। ফলে ঐ ওজন ও ঐ সর্বোচ্চ সীমার প্রভেদ বল ব্যক্তির ভরের উপর প্রযুক্ত হওয়ায় নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী সামান্য ত্বরণ সৃষ্টি করে। সামান্য নামিয়াই ব্যক্তিটি থামিয়া যায়, কারণ নামিবার ফলে নীচের মাটি ঘন হইয়া শক্ত হয় ও তাহার প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করিবার ক্ষমতাও বৃদ্ধি পায়।

এই সূত্র হইতে আর একটি বিশিষ্ট তত্ত্বের উদ্ভব হইয়াছে **ভরবেগ সংরক্ষণ তত্ত্ব** (Principle of Conservation of Momentum)। যদি একটি দ্রুতগামী ক্রিকেট বল বা গোলকের বিরুদ্ধে একটি ব্যাট (bat) সবেগে চালনা করা হয় তবে গোলকটি ধাক্কা খাইয়া সবেগে উল্টাদিকে চলিতে থাকে। অতি অল্প সময়ের জন্য গোলক ও ব্যাট সংস্পর্শে থাকে ; সেই সময় গোলক ব্যাটের উপর বল প্রয়োগ করে এবং ব্যাটও সমান বল ঐ গোলকের উপর বিপরীত দিকে প্রয়োগ করে। § 3·5 অনুচ্ছেদে পড়িয়াছ, বল হইতেছে সময়ের সহিত ভরবেগের পরিবর্তনের হার। যেহেতু গোলক ও ব্যাটের প্রযুক্ত বল সমান (তৃতীয় গতিসূত্র অনুসারে) এবং প্রত্যেকে সমান সময় ধরিয়াই এই বল প্রয়োগ করে ; সুতরাং গোলকের যে পরিমাণ ভরবেগ হ্রাস বা বৃদ্ধি পাইবে, ব্যাটেরও সেই পরিমাণ ভরবেগ বৃদ্ধি বা হ্রাস পাইবে। গোলক ব্যাটকে যে পরিমাণ ভরবেগ কোনও দিকে দিবে, ব্যাটও সেই পরিমাণ ভরবেগ গোলককে বিপরীত দিকে দিবে, অর্থাৎ ধাক্কা লাগিবার পূর্বে ব্যাট ও গোলকের মিলিত ভরবেগ ধাক্কা লাগিবার পরেও একই থাকিবে। অবশ্য এই হিসাবের সময় ভরবেগের দিক্ সম্বন্ধে সচেতন থাকিতে হইবে। স্মরণ রাখিতে হইবে, ভরবেগ একটি ভেক্টর রাশি এবং মিলিত ভরবেগ মানে দুই ভরবেগের ভেক্টর যোগ। সেইজন্য দুইটি কাছাকাছি ভরবেগের গোলক বিপরীত দিক্ হইতে আসিয়া ধাক্কা খাইয়া উভয়েই নিজ নিজ দিকের উল্টাদিকে চলিতে থাকে আর দুইটি গোলক, যাহাদের ভরবেগ অনেক কমবেশী, বিপরীত দিক হইতে আসিয়া ধাক্কা খাইলে ছোটটি তাহার দিকের বিপরীত দিকে চলিতে থাকে, কিন্তু বড়টি নিজস্ব দিকেই—অবশ্য কম বেগে চলিতে থাকে।

এই ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র ব্যালিষ্টিক দোলক (Ballistic Pendulum)-এর সাহায্যে পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায় এবং নিউটনের তৃতীয় গতিসূত্র অনুযায়ী তত্ত্বগতভাবে (theoretically) প্রমাণ করা যায়। এ সম্বন্ধে § 3·9 অনুচ্ছেদে আরও আলোচনা করা হইয়াছে।

3·7. ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার বিভিন্ন রূপ (Different kinds of

Action and Reaction): দুই বস্তুর মধ্যে ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া নিম্নবর্ণিত রূপে হইতে পারে:

(1) **ঘাত** বা **চাপ**: যখন কোনও বস্তু আর এক বস্তুর সংস্পর্শে আসিয়া উহার উপর সরাসরি বল প্রয়োগ করে তখন সেই বল ঘাত বা চাপে পরিবর্তিত হয়। এই বল দ্বিতীয় বস্তুর পৃষ্ঠের লম্বদিকে প্রযুক্ত হয় এবং প্রতিক্রিয়াও উহার বিপরীত দিকে সৃষ্ট হয়। ইহার দৃষ্টান্ত, যেমন একটি বই একটি টেবিলের উপর রাখিলে নিজের ওজন টেবিলের পৃষ্ঠের উপর লম্বভাবে প্রয়োগ করে, টেবিলও সমান বল লম্বভাবে উপর দিকে প্রতিক্রিয়া হিসাবে প্রয়োগ করে।

(2) **টান**: যখন দুই বস্তু একটি দড়ি বা তারের সাহায্যে পরস্পর নিজের দিকে বল প্রয়োগ করিয়া টানে, তখন ঐ ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়াকে বলে **টান** (Tension)। দড়িতে দুই দিকেই টান প্রযুক্ত হয় এবং তাহারা পরস্পর সমান।

(3) **আকর্ষণ ও বিকর্ষণ** (**Attraction and Repulsion**): এই ধরনের বল দুই বস্তুর পরস্পরের মধ্যে কোনও কোনও ক্ষেত্রে প্রযুক্ত হয়। এক চুম্বকের উত্তর মেরু আর এক চুম্বকের দক্ষিণ মেরুকে দূর হইতে আকর্ষণ করে, আর দ্বিতীয় চুম্বকের উত্তর মেরুকে বিকর্ষণ করে। পৃথিবী সমস্ত জিনিসকে আকর্ষণ করে; সেজন্য কোনও জিনিস ফেলিয়া দিলে সোজাসুজি নীচের দিকে নামিতে থাকে।

(4) **ঘর্ষণ** (**Friction**): যখন এক বস্তু আর এক বস্তুর পৃষ্ঠের উপর দিয়া চলিতে থাকে বা চলিবার উপক্রম করে, তখন ঐ দ্বিতীয় বস্তুর পৃষ্ঠ ঐ চলা বন্ধ করে বা বন্ধ করিবার চেষ্টায় বাধা দেয়; অর্থাৎ চলিবার দিকের বিপরীত দিকে বল প্রয়োগ করে। ইহাকে বলে **ঘর্ষণ**। এ সম্বন্ধে § 3·10 অনুচ্ছেদে বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে।

3·8. একই সরলরেখা অনুসারী বিভিন্ন বস্তুকণার মধ্যে স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ (Elastic Collision of Particles moving in the same line):

স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ—তোমরা লক্ষ্য করিয়াছ, যদি একটি চামড়ার ফুটবলকে জোর পাম্প করিয়া একটি শক্ত ও মসৃণ দেওয়ালের উপর নিক্ষেপ করা হয়, তবে বলটি সমান বেগে সজোরে ফিরিয়া আসিবে। কিন্তু যদি বলটির বায়ু কিছুটা বাহির করিয়া দিয়া তাহার পর সজোরে নিক্ষেপ করা হয়, তবে উহা সামান্য বেগে ফিরিয়া আসিবে। প্রথম ক্ষেত্রে ফুটবল ও দেওয়ালের মধ্যে যে সংঘর্ষ হইয়াছিল তাহা হইল **স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ** (Elastic Collision); দ্বিতীয় ক্ষেত্রে হইল **অস্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ** (Inelastic Collision)।

এই সংঘর্ষ দেওয়াল ও ফুটবলের না হইয়া দুইটি ফুটবলের মধ্যেও হইতে পারে। আর এই দুই প্রকার সংঘর্ষের মধ্যে পার্থক্য এই যে, যদি দুই বস্তুর মধ্যে এমন সংঘর্ষ হয় যে, সংঘর্ষের আগে উহাদের যে মোট চলন গতিশক্তি

(Kinetic energy of translation) ছিল, সংঘর্ষের পরেও তাহা অক্ষত থাকে, তবে তাহাদের সংঘর্ষ স্থিতিস্থাপক। আর যদি সংঘর্ষের ফলে উহাদের কোনটি (বা উভয়ই) ঘুরিতে থাকে বা একটি তুবড়াইয়া বা বাঁকিয়া যায়, যাহার ফলে মোট চলন গতিশক্তি কিছুটা হ্রাস পায়, তবে সেই সংঘর্ষ হইবে অস্থিতিস্থাপক (inelastic)। কিন্তু উভয় ক্ষেত্রেই ভরবেগের সংরক্ষণ সূত্র মান্য হইবে। বিলিয়ার্ড টেবিলে দুই বিলিয়ার্ড বলের সংঘর্ষ প্রায় পুরাপুরি স্থিতিস্থাপক। আবার দুইটি সীসার বলের সংঘর্ষ অস্থিতিস্থাপক সংঘর্ষের বড় উদাহরণ।

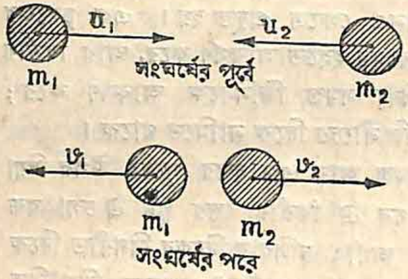
স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষের ফল : ধর, দুইটি বস্তুর ভর m_1, m_2 ; তাহাদের বেগ যথাক্রমে u_1, u_2 ; তাহাদের মধ্যে স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ হইল, এবং তাহার ফলে তাহারা যথাক্রমে v_1 ও v_2 বেগে চলিতে লাগিল [চিত্র নং 60]।

এখানে সংঘর্ষের পূর্বে তাহাদের মোট ভরবেগ (সাধারণভাবে) $= m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2$

$= m_1u_1\hat{i} - m_2u_2\hat{i}$ = [চিত্রে প্রদর্শিত ক্ষেত্রে] $\hat{i}\,(m_1u_1 - m_2u_2)$

এখানে $\hat{i}$ প্রতীক u_1, গতিবেগের দিকে একক ভেক্টর।

সংঘর্ষের অব্যবহিত পরে তাহাদের মোট ভরবেগ (সাধারণভাবে,) $= m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 =$ $\hat{i}\,(m_2v_2 - m_1v_1)$



চিত্র নং 60

সুতরাং ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র অনুযায়ী,

$$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$$

$$\text{বা,}\quad m_1u_1 - m_2v_2 = -m_1v_1 + m_2u_2 \qquad \cdots\cdots (3.8.1)$$

3.9. জেট ও রকেট (**Jets and Rockets**): ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্রের যথার্থতার বহু উদাহরণ আমাদের চোখে পড়ে। একটি বন্দুক হাতে লইয়া গুলি ছুঁড়িলে বন্দুক পিছনের দিকে জোরে ধাক্কা মারে। তাহার কারণ, বারুদ জ্বলিয়া উঠিবার সংগে সংগে প্রবল চাপে গ্যাস উৎপন্ন হয়। ঐ গ্যাস গুলিকে সামনের দিকে চাপ প্রয়োগ করে, আর বন্দুকের পার্শ্বীয় দিকে (laterally) ও পিছন দিকে সমান চাপ প্রয়োগ করে। পার্শ্বীয় চাপ ডাইনে ও বামে সমান হওয়ায় উহার লব্ধ চাপ বা বল কিছু থাকিবে না। গুলিটি যদি বন্দুকের সহিত আটকান থাকিত তাহা হইলে গুলি ও বন্দুকের পিছনের দিকে প্রযুক্ত বলও সমান হইত। লব্ধি কিছু থাকিত না। কিন্তু গুলি বন্দুকের সহিত যুক্ত না হওয়ায় উহা বাহিরের দিকে

যাইতে থাকিবে এবং একটি ত্বরণ অর্জন করিবে। ঐ ত্বরণের জন্য উহার ভরবেগও বাড়িতে থাকিবে। অল্পক্ষণ বাদেই উহা বন্দুকের নল ত্যাগ করিয়া সবেগে বাহির হইবে। আর যে ভরবেগ লইয়া উহা বাহির হইবে সেই ভরবেগ লইয়া বিপরীত দিকে বন্দুকও ধাক্কা দিবে, কারণ পূর্বে উহাদের উভয়ের ভরবেগ ছিল শূন্য ; আর সেজন্য পরেও উহাদের মিলিত ভরবেগ হইবে শূন্য।

আর একটি উদাহরণ তোমাদের অনেকের চোখে নিশ্চয়ই পড়িয়াছে। নৌকায় ভ্রমণ করিলে নিশ্চয়ই লক্ষ্য করিয়াছ, তীরে পৌছাইয়া যদি কেহ নৌকা হইতে লাফাইয়া তীরে নামে, তবে সংগে সংগে নৌকা পিছাইয়া যায়। ইহাও একই সূত্র অনুযায়ী হয়।

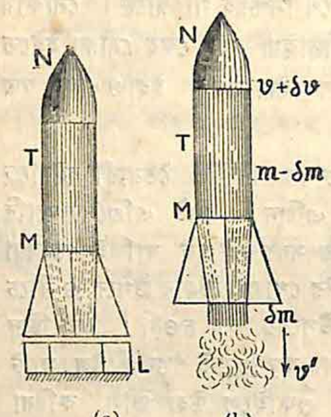
এই ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র অবলম্বন করিয়া যেসব জিনিস তৈয়ারী হইয়াছে তাহার মধ্যে একটি গুরুত্বপূর্ণ জিনিস হইল জেট এঞ্জিন। জেট এঞ্জিনের আদি সংস্করণ হইল উড়ন তুবড়ি ও হাউই। কালীপূজার সময় এই দুই বাজিই তোমরা দেখিয়াছ। উহা একটি প্রায় গোলাকার পোড়া মাটির খোল। উহার উপরে ও নীচে দুইটি ছিদ্র থাকে। নীচের ছিদ্রটি অতি ক্ষুদ্র। উপরের ছিদ্র চওড়া। এই ছিদ্র দিয়া প্রথমে খোলটি মসলা ভর্তি করা হয়। তাহার পর বড় ছিদ্রটি শক্ত এঁটেল মাটি ভিজাইয়া তাহা দিয়া ভাল করিয়া বন্ধ করা হয়। শুকাইলে উহা ভাল করিয়া আটকাইয়া থাকে। তাহার পর খোলটিকে ভাল করিয়া আলগোছে ধরা হয় যাহাতে উহার অক্ষ উল্লম্ব (vertical) থাকে। সেই অবস্থায় তলাকার ছিদ্রে আগুন ধরাইয়া দেওয়া হয়। মসলা এমন থাকে যাহাতে উহা দ্রুত পুড়িতে পারে। ফলে দ্রুত গ্যাস উচ্চ চাপে সৃষ্টি হয়। সেই গ্যাস চতুর্দিকে চাপ সৃষ্টি করে, এবং তলার ছিদ্র দিয়া সবেগে নীচের দিকে বাহির হইয়া আসে। যে ভরবেগে উহা বাহির হয়, ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র অনুযায়ী সেই ভরবেগ উপরের দিকে প্রবল বেগে খোলটিকে তুলিতে থাকে। আবার যতই মসলা পুড়িতে থাকে ততই তুবড়ীর ভরও কমিতে থাকে, ফলে উহার গতিবেগও বাড়িতে থাকে।

একইরূপে হাউই বা Rocket বাজি ক্রিয়া করে। লম্বা একটি চোঙ-আকৃতি টিনের খোলে মসলা পোরা হয়। ইহার নীচে একটি ছোট ছিদ্র থাকে ; সেই ছিদ্রে একটি পলতে লাগান থাকে। এই খোলটি লম্বা পাটকাঠির সহিত বাঁধিয়া ঐ পাটকাঠিটি একটি বোতলের মধ্যে রাখা হয় যাহাতে সমস্ত খোল ও পাটকাঠি লম্বভাবে থাকে। তাহার পর ঐ পলতেতে আগুন দেওয়া মাত্র ঐ আগুন মসলায় ধরিয়া যায়। একটি আগুনের হলকা লম্বভাবে বাহির হইয়া আসে এবং হাউইটি সবেগে উপরে উঠিয়া যায়।

এই দুইয়েরই আধুনিক সংস্করণ রকেট, যাহার সাহায্যে কৃত্রিম উপগ্রহকে তাহার

নির্দিষ্ট কক্ষপথে স্থাপন করা যায় এবং পারমাণবিক বা সাধারণ বোমা বহু দূরে নির্ভুল পথে ক্ষেপণ করা যায়।*

রকেট ও কৃত্রিম উপগ্রহ (Rockets and Artificial Satellites)ঃ আধুনিক রকেট ও কৃত্রিম উপগ্রহ 1957 সালের অক্টোবর মাসে সোভিয়েত রাশিয়া হইতে প্রথম উৎক্ষিপ্ত হয়। ইহার আকার ও কার্য পদ্ধতি চিত্র নং 61 (a) এবং (b)-তে দেখান হইয়াছে।



চিত্র নং 61

রকেটটির তিন অংশ, যথা—(i) N—উহার সুন্ত বা নাসিকা। উহার ভিতরে একটি ছোট ঘর থাকে। তাহাতে নানা পরিমাপক যন্ত্রপাতি থাকে। যদি উহাতে আরোহী থাকে, তবে তাহার স্থানও ঐ ঘরেই। (ii) মধ্যস্থানে থাকে জ্বালানির ট্যাঙ্ক (T); এই জ্বালানি কঠিন ও তরল উভয়বিধ হয়। (iii) নীচে থাকে রকেটের মোটর (M)। ট্যাঙ্ক হইতে জ্বালানি পাম্পের সাহায্যে মোটরে প্রবেশ করান হয়।

রকেটের পাদদেশে কয়েকটি মুখনল (nozzle) সমান্তরালভাবে লাগান থাকে, যাহাতে জ্বালানিতে আগুন লাগাইলে জ্বলন্ত গ্যাস প্রবলবেগে মুখনল দিয়া বাহির হইতে পারে।

রকেটকে উল্লম্বভাবে একটি বেদীর (L) উপর খাড়াভাবে রাখা হয়। এঞ্জিন চালনা করা মাত্র জ্বালানি পুড়িতে থাকে এবং জ্বলন্ত গ্যাস সবেগে মুখনল দিয়া খাড়াভাবে নিম্নদিকে বাহির হইতে থাকে। ভরবেগ সংরক্ষণ তত্ত্ব অনুযায়ী জ্বলন্ত গ্যাস যে ভরবেগ লইয়া বাহির হয় সেই ভরবেগ লইয়া বাকী জ্বালানিসহ রকেটটি উপরের দিকে উঠিতে প্রয়াস পায়।

ধর, জ্বালানি সহ রকেটটির ভর m; আর প্রতি ক্ষুদ্র সময় δt-তে δm ভরের জ্বালানি পুড়িয়া যায়। [অবকলন গণিত (Differential Calculus)-এর ভাষা ও সংকেত অনুযায়ী, m যদি ভর বুঝায় তবে অতি ক্ষুদ্র ভর বুঝাইতে লেখা হয় δm;

* দ্বিতীয় বিশ্বযুদ্ধে হিটলার এই রকেটের সাহায্যে লণ্ডনে বোমাবৃষ্টি করিয়া আতংকের সৃষ্টি করিয়াছিলেন। ঐ ক্ষেপণাস্ত্রের নাম V_1 ও তাহার উন্নত সংস্করণ V_2; যুদ্ধের পরে 1957 সালে রাশিয়া হইতে প্রথম কৃত্রিম উপগ্রহ উৎক্ষিপ্ত হয়। তাহার পরে বহু দেশে, বিশেষতঃ রাশিয়া ও আমেরিকা বহু শক্তিশালী রকেট তৈয়ারী করিতে থাকে। তাহাদের সাহায্যে মহাকাশ অভিযান, চন্দ্রে অভিযান এবং নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষা চলিতেছে। ভারতও এই অভিযানে অংশ লইয়াছে, এবং গত বৎসর (1975 সাল) আর্যভট্ট নামে একটি মহাকাশযান রাশিয়া হইতে রুশ বিজ্ঞানীদের সাহচর্যে রকেটের সাহায্যে উৎক্ষেপন করিয়াছে।

অনুরূপভাবে অতি ক্ষুদ্র সময় বুঝাইতে লেখা হয় δt ইত্যাদি। গণিতে তোমরা ইহা পড়িয়াছ।] সুতরাং যদি জ্বলন্ত গ্যাসের নিম্নমুখী বেগ হয় v, তবে δt সময়ে ভরবেগ সংরক্ষণ তত্ত্ব অনুযায়ী রকেটটি উপরমুখী ভরবেগ পাইবে $v.\delta m$। সুতরাং উহার ভরবেগ লাভের হার হইবে $\frac{v.\delta m}{\delta t}$। নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র অনুযায়ী ইহাই হইবে উপরমুখী বল, যাহা রকেটকে উপরের দিকে চালনা করিতে প্রয়াস পাইবে। মনে কর, রকেটের ভর m। ফলে ঐ বলের জন্য সৃষ্ট ত্বরণ হইবে, $\frac{v.\ \delta m}{m.\ \delta t} = f$ (ধর)। কিন্তু এই ত্বরণ যদি পৃথিবীর **অভিকর্ষণজনিত ত্বরণ** (acceleration due to gravity) g-র কম হয় তবে রকেট শূন্যে উঠিবে না। সেজন্য বাস্তবে, রকেট এঞ্জিন চালু করিয়াই জ্বালানি পুড়িবার হার দ্রুত বাড়ান হয়। ফলে δm বাড়িতে থাকে এবং সেই সংগে রকেটের ভরও একই হারে হ্রাস পাইতে থাকে, অর্থাৎ m কমিতে থাকে। উভয় কারণেই উপরমুখী ত্বরণ f দ্রুত বাড়িতে থাকে। যখন উহা g-র মান অতিক্রম করে তখন রকেট ($f-g$)-ত্বরণ সহ উপর দিকে চলিতে থাকে।

ইহাই রকেট চালনার মূল তত্ত্ব। বাস্তবে বহু বাধা ও সমস্যা দেখা যায়; যেমন পৃথিবীর ঘন বায়ুমণ্ডলের জন্য ঘর্ষণ, পথের নিশানা পরিবর্তন করা, নির্দিষ্ট পথ ছাড়িয়া অন্য পথে যাওয়া ইত্যাদি। এইসব সমস্যা সমাধানের জন্য নানা ব্যবস্থা থাকে। তাহাদের মাধ্যমে রকেটের সাহায্যে কৃত্রিম উপগ্রহ নানা কক্ষপথে স্থাপন করা সম্ভব হইয়াছে; সম্ভব হইয়াছে চন্দ্রপৃষ্ঠে মানুষের অভিযান।

উদাহরণ: একটি রকেট প্রথম সেকেণ্ডে উহার ভরের $\frac{1}{100}$ অংশ হারায়; এই জ্বালানি পুড়িয়া জ্বলন্ত গ্যাস 2000 মিটার / সেকেণ্ড বেগে বাহির হয়। রকেটের ত্বরণ কত? [$g=980$ সে. মি. / সেকেণ্ড^2]।

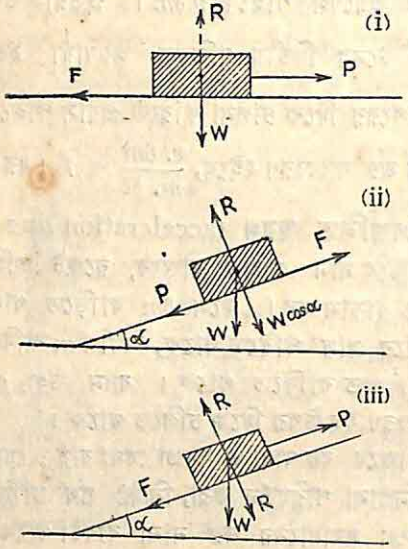
$$\text{এখানে,}\quad \delta t=1,\ \frac{\delta m}{m}=\frac{1}{100},\ v=2\times10^5 \text{ সে. মি. / সেকেণ্ড}$$

$$\therefore\ \text{ত্বরণ}=f-g=\frac{2\times10^5}{100}-980=2000-980$$

$$=1020 \text{ সে. মি./সেকেণ্ড}^2\text{।}$$

3·10. ঘর্ষণ (Friction): 3·7 অনুচ্ছেদে ঘর্ষণের উল্লেখ পাইয়াছ। যখনই এক বস্তু আর এক বস্তুর উপর দিয়া চলিতে চায়, তখনই শেষোক্ত বস্তু প্রথমোক্ত বস্তুর চলিবার প্রচেষ্টাকে বাধা দেয়। এই বাধাকে বলে ঘর্ষণ। সুতরাং চলিবার প্রচেষ্টা হইতেছে প্রথম বস্তুর দ্বারা দ্বিতীয় বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল—ইহা একটি ক্রিয়া (action); আর দ্বিতীয় বস্তু যে বলের মাধ্যমে বাধা দেয় তাহা ইহার প্রতিক্রিয়া (reaction)। সুতরাং ঘর্ষণ একটি প্রতিক্রিয়া, ক্রিয়া হইতেই ইহার জন্ম। লক্ষ্য

করিবার বিষয় যে এই ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া, উভয়েই ক্ষেত্রের সমান্তরালে প্রযুক্ত হয়। সাধারণতঃ কোনও বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করা মানে ঐ বস্তুর বাহিরের ক্ষেত্র (outer surface)-এর উপর লম্বভাবে বল প্রয়োগ করা ; আর উহার দ্বারা যে প্রতিক্রিয়ার সৃষ্টি হয় তাহাও লম্বভাবে কার্য করে। এই প্রতিক্রিয়া হইতেছে অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া (normal reaction)। কিন্তু ঘর্ষণ একটি সমান্তরাল প্রতিক্রিয়া এবং একটি সমান্তরাল ক্রিয়া হইতেই উহার সৃষ্টি। একটি বস্তুকে মেঝের উপর সরাইতে মেঝের সমান্তরাল দিকেই বল প্রয়োগ করিতে হয়।



চিত্র নং 62

চিত্র নং 62-তে দেখিতেছ সমতল ক্ষেত্রের উপর একটি বস্তু (ওজন W) রহিয়াছে। ক্ষেত্র ও উহার উপর অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করিবে R ; আর W = R হইবে। এইবার বস্তুটিতে ক্ষেত্রের সমান্তরাল দিকে একটি বল P, প্রয়োগ করা হইল। সংগে সংগে ক্ষেত্র বস্তুটির উপর প্রতিক্রিয়া F প্রয়োগ করিয়া এই প্রচেষ্টাকে বাধা দিবে এবং F = P হইবে। এইবার যদি P কে ধীরে ধীরে বাড়ান হয়, F-ও সংগে সংগে বাড়িতে থাকিবে, F = P থাকিবেই। P-কে কমাইলে F-ও সমভাবে কমিবে। কিন্তু P-কে যদি ক্রমাগত বাড়ান হয় তবে F কিন্তু বরাবর বাড়িবে না। উহা একটি সর্বোচ্চ সীমা পর্যন্ত P-র সহিত সমভাবে বাড়িয়া আর বাড়িবে না। P-কে আর সামান্য বাড়াইলেই P > F হইবে এবং P ও F, এই দুই বলের প্রভেদ মানের বল বস্তুটিকে নিউটনের দ্বিতীয় গতি সূত্রানুযায়ী একটি ত্বরণের সহিত ঠেলিয়া লইয়া চলিবে। এই F-বলের (বা ঘর্ষণ প্রতিক্রিয়ার) সর্বোচ্চ সীমাকে বলা হয় ঐ বস্তুর ও ঐ ক্ষেত্রের মধ্যেকার **সর্বোচ্চ ঘর্ষণ সীমা** (Maximum Limiting Friction)।

পরীক্ষা করিয়া দেখা যায়, যদি সমতল ক্ষেত্রটি বন্ধুর (rough) হয় তবে ঐ বস্তুকে সরাইতে অনেক বলের প্রয়োজন ; আর ক্ষেত্রটি মসৃণ হইলে অল্প বলই যথেষ্ট। অর্থাৎ সর্বোচ্চ ঘর্ষণ সীমা যে সমতল ক্ষেত্রের উপর দিয়া বস্তুকে সরাইতে হইবে তাহার মসৃণতার উপর নির্ভর করে।

আবার একই ক্ষেত্রের উপর একই আকৃতি ও আয়তনের, কিন্তু বিভিন্ন ওজনের, বস্তু সরাইতে বিভিন্ন বলের প্রয়োজন—ভারী বস্তুর জন্য অধিক বল প্রয়োজন, হালকা বস্তুর জন্য অল্প বল যথেষ্ট। ভাল করিয়া পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে, এই প্রয়োজনীয় বল বা সর্বোচ্চ ঘর্ষণ সীমা বস্তুর উপর ঐ ক্ষেত্র দ্বারা প্রযুক্ত **অভিলম্ব প্রতিক্রিয়ার** সমানুপাতিক। স্মরণ রাখিবে যে এই ঘর্ষণ সীমা বস্তুর ওজনের সমানুপাতিক নয়। যদি সমতল ক্ষেত্রটি অনুভূমিক হয় তবে এই দুইয়ের মধ্যে কোনও পার্থক্য নাই। কিন্তু চিত্র নং 62(ii)-এ লক্ষ্য করিলে দেখিবে যে ক্ষেত্রের উপর প্রযুক্ত বস্তুর ওজন ও বস্তুর উপর প্রযুক্ত অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া এক নয়; আর ঘর্ষণ সীমা এই শেষোক্ত বলের সহিত সমানুপাতিক। অর্থাৎ $F \propto R$।

সুতরাং $F = \mu R$; μ একটি ধ্রুবক। … (3·9 1) ইহাকে বলে কোনও বস্তু ও কোনও সমতল ক্ষেত্রের **ঘর্ষণাংক** (Coefficient of Friction)।

কয়েকটি কথা : এ পর্যন্ত ঘর্ষণ সম্বন্ধে যাহা পড়িয়াছ তাহা হইতে বুঝিয়াছ ঘর্ষণ একটি প্রতিক্রিয়া। বস্তু যেদিকে চলে বা চলিতে চায়, ঘর্ষণ তাহার বিপরীত দিকে প্রযুক্ত হয়। চিত্র নং 62(ii)-এ বস্তুটি নিজের ওজনের জন্যই নত ভূমিতে নীচের দিকে নামে বা নামিতে চায়; ফলে ঘর্ষণ বল উপরের দিকে প্রযুক্ত হয়। আবার চিত্র নং 62(iii)-এ ঐ বস্তুকে একটি সুতার সাহায্যে বল প্রয়োগ করিয়া উপরের দিকে তোলা হইতেছে বা তুলিবার চেষ্টা করা হইতেছে। সুতরাং এখানে ঘর্ষণ বল নীচের দিকে প্রযুক্ত হইতেছে। আর ঘর্ষণ বল (F) বলিতে সাধারণতঃ উহার সর্বোচ্চ সীমা বোঝায়।

ঘর্ষণ কোণ (Angle of Friction) : চিত্র নং 62(ii)-এ একটি নত ভূমি (inclined plane) দেখিতেছ। ধর, উহার উপর একটি বস্তু (ওজন W) রহিয়াছে এবং নিজের ওজনেই উহা ঠিক নামিবার মুহূর্তে রহিয়াছে। যদি নত ভূমি ও অনুভূমিক তলের অন্তর্ভুক্ত কোণ হয় α, তবে চিত্র পরীক্ষা করিলেই দেখিবে বস্তুটি নত ভূমির উপর লম্বভাবে যে বল প্রয়োগ করে তাহা হইল ঐ দিকে W বলের উপাংশ (component), আর নত ভূমির বরাবর উপাংশ হইবে P। সুতরাং বস্তুর উপর প্রযুক্ত অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া হইবে R; আর ঘর্ষণ বল (এক্ষেত্রে সর্বোচ্চ সীমা, কারণ বস্তুটি নীচের দিকে নামিবার অবস্থায় আছে) হইবে F। ধর, বস্তুর উপর প্রযুক্ত দুই প্রতিক্রিয়ার লব্ধি F_R।

যদি এই লব্ধি F_R ও অভিলম্ব দিকের অন্তর্ভুক্ত কোণ হয় θ, তবে চিত্র অনুসারে, $\tan\theta = \frac{F}{R}$; আবার সমীকরণ (3·9.1) অনুসারে, $\mu = \frac{F}{R}$। সুতরাং

$\mu = \tan\theta$; বা ঘর্ষণ কোণ, $\theta = \tan^{-1}\mu$ … (3·9.2)

ঘর্ষণাংক নিরূপণ (Determination of Coefficient of Friction)ঃ যে বস্তু ও যে সমতল ক্ষেত্রের মধ্যেকার ঘর্ষণাংক বাহির করিতে হইবে সেই বস্তুকে ঐ [চিত্র নং 62] সমতল ক্ষেত্রটিকে অনুভূমিক করিয়া তাহার উপরে বসাও। ঐ ক্ষেত্রটিকে একটি শক্ত অনুভূমিক টেবিলের সহিত এক প্রান্তে একটি কবজা দ্বারা আটকাইয়া রাখ, যাহাতে উহাতে ঐ কবজার সাহায্যে ঘুরাইয়া যে কোন কোণে নত (inclined) করা যায়। এইবার ক্ষেত্রটিকে ধীরে ধীরে ঘুরাইয়া কবজার বিপরীত প্রান্তটিকে তুলিতে থাক। কিছুদূর উঠিবার পর হঠাৎ বস্তুটি নামিতে থাকিবে। বুঝিতে হইবে, তখন বস্তুটির উপর প্রযুক্ত চালক বল সর্বোচ্চ ঘর্ষণ বলের সমান হইয়াছে। এইবার অনুভূমিক তল ও নত তলের অন্তর্ভুক্ত কোণ একটি চাঁদার (protractor) সাহায্যে মাপ। ধর, এই কোণ α হইল।

সুতরাং $F = P = W \sin \alpha$।

$R = W_N = W \cos \alpha$;

আবার সমীকরণ (3·9·1) অনুযায়ী, $F \pm \mu R$;

$\therefore \quad \mu = \frac{F}{R} = \tan \alpha$।

আবার যদি $\angle\theta$ হয় ঘর্ষণ কোণ, তবে সমীকরণ (3·9·2) অনুযায়ী,

$\theta = \tan^{-1} \mu = \alpha$।

3·11. গতীয় ঘর্ষণ (Dynamic Friction)ঃ উপরের অনুচ্ছেদে ঘর্ষণকে ধরা হইয়াছে বস্তুকে কোনও তলের উপরে গতিশীল করিতে যে অল্পতম বল প্রয়োজন হয় তাহা। তোমরা নিশ্চয়ই লক্ষ্য করিয়াছ, একটি ভারী ঠেলা গাড়ীকে নড়াইতে প্রচুর বল প্রয়োজন, হয়ত 4 জন লোক দরকার। কিন্তু একবার চলিতে থাকিলে আর উহার গতি অক্ষুণ্ণ রাখিতে অনেক কম বলই যথেষ্ট, হয়ত 3 জন বা এমনকি 2 জন লোকই যথেষ্ট। সুতরাং গতিশীল করিতে সমতল ক্ষেত্র যে বাধা দেয়, গতিশীল হইলে পরে তাহা অপেক্ষা কম বাধা দেয়। অর্থাৎ একই বস্তু ও একই তলের মধ্যেকার ঘর্ষণ বল স্থিতির অবস্থায় বেশী, গতীয় অবস্থায় কম। শেষোক্ত অবস্থায় যে ঘর্ষণ তাহাকে বলে **গতীয় ঘর্ষণ** এবং §§ 3·9, 3·10 অনুচ্ছেদে বর্ণিত ঘর্ষণ হইতেছে স্থিতীয় ঘর্ষণ।

প্রশ্নাবলী

1. নিউটনের গতিসূত্রাবলী লেখ। প্রথম সূত্রানুসারে জাড্য এবং বলের ধারণা কিভাবে করা যায়?

2. নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রের ব্যাখ্যা দাও। এই সূত্র হইতে বলের সংজ্ঞা কিভাবে পাওয়া যায়? বলের এককের সংজ্ঞা লেখ।

3. একটি 100 ডাইন বল 10 গ্রাম ভরবিশিষ্ট বস্তুর উপর 5 সেকেণ্ড প্রযুক্ত হইল। তাহার ভর-বেগের পরিবর্তন কত হইল ?

উত্তর : 500 সি. জি. এস. একক।

4. নিউটনের তৃতীয় সূত্রের সংজ্ঞা দাও। কিভাবে এই সূত্র হইতে ভরবেগ সংরক্ষণ তত্ত্ব প্রমাণিত হয় ?

5. ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া কাহাকে বলে, দৃষ্টান্ত দ্বারা বুঝাও। কত প্রকার ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া হইতে পারে ?

6. ঘাত কাহাকে বলে ? ঘাত বল কিভাবে পরিমাপ করা যায়, দৃষ্টান্ত দ্বারা বুঝাও।

7. দুইটি স্থিতিস্থাপক গোলক একই সরলরেখাতে u_1 এবং u_2 বেগে আসিয়া ধাক্কা খাইল। তাহাদের ভর যথাক্রমে m_1 এবং m_2 হইলে সংঘর্ষের পর গতিবেগ কোন্ দিকে এবং কিরূপ হইবে ?

8. দেখাও যে দুইটি স্থিতিস্থাপক গোলকের ভর যদি সমান হয় এবং বিভিন্ন গতিবেগে আসিয়া যদি পরস্পরের সংগে ধাক্কা খায়, তবে সংঘর্ষের পর তাহাদের গতিবেগ উল্টাইয়া যাইবে।

9. জেট্ ও রকেট কাহাকে বলে ? একটি রকেটের সরল বিবরণ দাও। রকেট উৎক্ষেপণের তত্ত্ব আলোচনা কর।

10. ঘর্ষণ, অভিলম্ব, প্রতিক্রিয়া এবং সর্বোচ্চ ঘর্ষণ-সীমার সংজ্ঞা দাও। ঘর্ষণাংক কাহাকে বলে ? অভিলম্ব প্রতিক্রিয়ার সহিত ঘর্ষণ সীমার সম্বন্ধ কি ?

11. ঘর্ষণ কোণ কাহাকে বলে ? পরীক্ষাগারে ঘর্ষণাংক কিভাবে নিরূপিত হয় ?

12. একটি বস্তু একটি নততলের উপরে রহিয়াছে। নততল অনুভূমিক তলের সংগে 80° কোণ করিয়া আছে। যদি বস্তুটির ভর 500 গ্রাম এবং ঘর্ষণাংক 0·2 হয়, তাহা হইলে কত বল প্রয়োগ করিলে বস্তুটি নততল দিয়া গড়াইবে না।

উত্তর : 163·5 গ্রাম-ভার।

13. বলের মহাকর্ষ একক ও চরম এককের পার্থক্য কি ? উহাদের মধ্যে সম্বন্ধ কি ?

14. 200 পাউণ্ডের একটি বস্তুকে সুতা দিয়া বাঁধিয়া 5 ফুট/সেকেণ্ড^2 ত্বরণের সহিত নামান হইল। সুতাতে কত টান হইবে বাহির কর। যদি বস্তুটিকে 10 ফুট/সেকেণ্ড^2 ত্বরণের সহিত উপরে তোলা হয়, তবে সুতাতে কত টান হইবে ?

উত্তর : 5400 পাউণ্ডাল ; 8400 পাউণ্ডাল

15. 12 স্টোন ওজনের একটি লোক একটি লিফ্‌টে দাঁড়াইয়া আছে। একটি ওজন কলে (বা স্প্রিং তুলায়) তাহার কত ওজন উঠিবে বাহির কর, যখন লিফ্‌ট্ (ক) উপরের দিকে 10 ফুট/সেকেণ্ড সমবেগে উঠে, (খ) নীচের দিকে 4 ফুট/সেকেণ্ড^2 সম ত্বরণের সহিত নামে, (গ) উপর দিকে 4 ফুট/সেকেণ্ড^2 ত্বরণের সহিত উঠে।

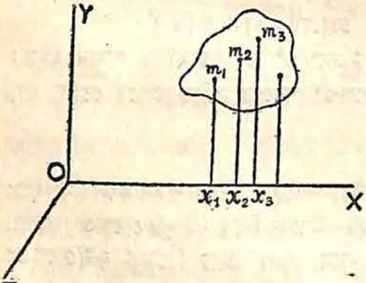
উত্তর : 12 স্টোন ; 10·5 স্টোন ; 13·5 স্টোন

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

স্থিতিবিদ্যা (Statics)

4·1. **স্থিতিবিদ্যা :** এ পর্যন্ত তোমরা বস্তুর গতি সম্বন্ধে নানা আলোচনা পড়িয়াছ। গতির উৎস কি, ত্বরণ থাকিলে কিরূপ গতি হয়, বল প্রয়োগের ফল কি, কত বলে কত ত্বরণ সৃষ্ট হয় ইত্যাদি। তোমাদের হয়ত ধারণা হইয়াছে, বল প্রয়োগ হইলেই ত্বরিত গতি সৃষ্ট হইবে। কিন্তু আমরা দেখি, বহু বস্তু বল প্রয়োগ সত্ত্বেও স্থির থাকে। বস্তুতঃ, পৃথিবীতে এমন কোনও বস্তু নাই যাহার উপর কোনও বল প্রযুক্ত নয়। পৃথিবীর আকর্ষণ সমস্ত বস্তুর উপর সব সময়েই প্রযুক্ত থাকে। তাহা সত্ত্বেও বহু বস্তু স্থির থাকে। ইহার উত্তর নিউটনের তৃতীয় গতিসূত্র হইতে পাওয়া যায়। কোনও বস্তুর উপর বল প্রয়োগ সত্ত্বেও যদি উহা স্থির থাকে তবে বুঝিতে হইবে উহাই একমাত্র বল নহে। প্রতিক্রিয়া সূত্রে বা অন্য সূত্রে আরও বল সৃষ্ট হইয়াছে, সকল বলই ঐ বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইতেছে এবং প্রথম বল ও অন্যান্য বলের মোট লব্ধি হইতেছে শূন্য। ফলে বস্তুটি স্থির আছে।

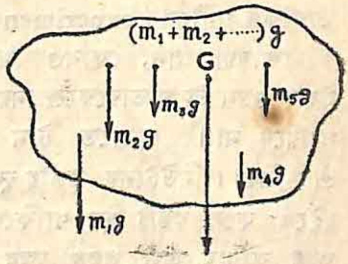
4·2. **ভরকেন্দ্র (Centre of Mass) :** যে কোনও বস্তু বহু ভর বিন্দুর সমষ্টি। বস্তুর উপর কোনও বল প্রয়োগ করিলে তাহা প্রত্যেক ভর বিন্দুর উপর প্রযুক্ত হয়। ভর বিন্দুগুলির অবস্থান বিভিন্ন। কোনও বস্তুর ভর বিন্দুগুলির গড় অবস্থান (mean position)-কে ঐ বস্তুর ভরকেন্দ্র বলে। চিত্র নং 63-তে একটি ত্রিমাত্রিক নির্দেশ তন্ত্র ও একটি বস্তুকে দেখান হইয়াছে। বস্তুটি বহু ভর বিন্দুর (ধর, $m_1, m_2, \cdots$) সমষ্টি। ধর, ভর বিন্দু m_1-এর অবস্থান নির্দেশাংক $x_1, \ y_1, \ z_1$। এইরূপ বিভিন্ন ভর বিন্দু $m_2, m_3, \cdots\cdots$ ভর বিন্দুর অবস্থান নির্দেশাংক, ধর, যথাক্রমে $x_2, y_2, z_2, \ x_3, y_3, z_3$ প্রভৃতি। তাহা হইলে x-অক্ষে সকলের গড় অবস্থান হইবে $\dfrac{m_1x_1+m_2x_2+\cdots\cdots+m_nx_n}{m_1+m_2+\cdots\cdots+m_n}=\dfrac{\sum_1^n mx}{\sum m}=\dfrac{\sum mx}{\text{M}}=\bar{x}$ (ধর)।



চিত্র নং 63

অনুরূপভাবে, $\bar{y}=\dfrac{\sum my}{\text{M}}, \ \bar{z}=\dfrac{\sum mz}{\text{M}}$। সুতরাং সমগ্র বস্তুটির ভরকেন্দ্র হইবে এমন একটি বিন্দু (P_1) যাহার নির্দেশাংক ($\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$)। ধরা যায়, বস্তুটির সমগ্র ভর M ঐ বিন্দু P-তে সঞ্চিত আছে।

4·3. **ভারকেন্দ্র (Centre of Gravity) :** ধর, কোন বস্তুকে পৃথিবী আকর্ষণ করিতেছে। বস্তুটিকে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ভর বিন্দুতে ভাগ করা হইল [চিত্র নং 64]। পৃথিবীর আকর্ষণ প্রতি ভর বিন্দুর উপর সমভাবে কার্যকর। যদি ভর বিন্দুগুলি হয় যথাক্রমে m_1, m_2, m_3, ..., m_n এবং সকলেই যদি নিজ নিজ অবস্থানে দৃঢ়ভাবে থাকে, তাহা হইলে আকর্ষণী বলগুলি হইবে যথাক্রমে m_1g, m_2g, m_2g, ..., m_ng। কারণ, যে কোনও নির্দিষ্ট স্থানে কোন বস্তুকে শূন্যে ছাড়িয়া দিলে তাহা একটি নির্দিষ্ট ত্বরণসহ (ইহার নাম অভিকর্ষজ ত্বরণ ; ইহা সাধারণতঃ সাংকেতিক অক্ষর g দ্বারা বুঝান হয়) অবতরণ করে ; আর নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র অনুযায়ী বল = ভর × স্পষ্ট ত্বরণ। আবার এই সমস্ত বলের দিক্ পৃথিবী পৃষ্ঠের উল্লম্ব। সুতরাং সমস্ত বল সমান্তরাল। উহাদের লব্ধি (resultant) বল বা বস্তুটির ওজন (ভার) হইবে $(m_1+m_2+\cdots\cdots+m_n)g=Mg$। এই বল উহাদের সহিত সমান্তরাল হইবে এবং তাহা একটি নির্দিষ্ট বিন্দুর মধ্য দিয়া যাইবে। এই বিন্দুকে বলে ঐ বস্তুর **ভারকেন্দ্র (centre of gravity)**। সুতরাং কোন বস্তুর ভারকেন্দ্র এমন একটি বিন্দু, যাহার মধ্য দিয়া সমগ্র বস্তুর ওজন (বা ভার) ক্রিয়া করে। বস্তুটি যদি কোন ক্ষুদ্র বস্তুর উপর এমনভাবে রাখা হয় যাহাতে ভারকেন্দ্র ঐ ক্ষুদ্র বস্তুর ঠিক উপরে থাকে, তবে উপরের বস্তুটি পড়িয়া যায় না। একটি ছড়ির ঠিক মধ্যস্থলের নীচে আঙ্গুল রাখিলে ছড়িটি পড়িয়া যায় না। ছড়িটির একদিক যদি মোটা হয় তবে আঙ্গুলকে মধ্যস্থল হইতে মোটাদিকে কিছু সরাইয়া রাখিতে হয় যাহাতে ছড়িটি পড়িয়া না যায়। সমান্তরাল বলের সূত্র (Theorem of Parallel Forces) অনুযায়ী এই ভারকেন্দ্রের অবস্থান বাহির করা যায় এবং উহার অবস্থান 4·2 অনুচ্ছেদের ভরকেন্দ্রের অবস্থানের সহিত অভিন্ন। অবশ্য বস্তুর বিভিন্ন ভর বিন্দুর উপর প্রযুক্ত বলগুলি সমান্তরাল হওয়া প্রয়োজন।



চিত্র নং 64

ভারকেন্দ্রের অবস্থান নিরূপণ : কোন কোন বস্তুর ভারকেন্দ্রের অবস্থান গণিতের সাহায্যে বাহির করা যায়। যদি বস্তুর জ্যামিতিক প্রতিসমতা (Geometrical Symmetry) থাকে তবে তাহা সহজ হয়। নিম্নে এইরূপ কয়েকটি বস্তুর ভারকেন্দ্রের অবস্থান দেওয়া হইল, যথা—

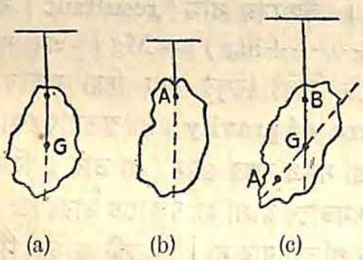
বস্তু	**ভারকেন্দ্রের অবস্থান**
সম প্রস্থচ্ছেদের রড	মধ্যবিন্দু
বৃত্তাকার চাকতি	কেন্দ্র

বস্তু	**ভারকেন্দ্রের অবস্থান**
গোলক	কেন্দ্র
ত্রিভুজাকৃতি পাতলা পাত (lamina)	সেণ্ট্রয়েড বিন্দু (centroid)
সামান্তরিক পাতলা পাত	দুই কর্ণের ছেদবিন্দু

যে কোন আকারের বস্তুর (যাহার জ্যামিতিক প্রতিসমতা পাওয়া যায় না) ভারকেন্দ্র পরীক্ষা (experiment) দ্বারা বাহির করা যায়।

তোমরা জান, কোনও বস্তুকে যদি একটি সুতার দ্বারা ঝুলাইয়া দেওয়া হয় তবে উহার ওজন উহার ভারকেন্দ্রে নিম্নমুখী কার্য করিবে। সুতার জন্য উহা নীচে নামিতে পারিবে না। সুতাতে টান (tension) ধরিবে উপরমুখী। ইহাই ওজনের প্রতিক্রিয়া। নিউটনের তৃতীয় সূত্র অনুযায়ী ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া সমান ও বিপরীতমুখী হইবে ফলে বস্তুটি স্থির থাকিবে। সুতরাং এই দুই বল একই রেখা অনুযায়ী কার্য করিবে এবং ঝুলন্ত বস্তুর মধ্য দিয়া সুতার রেখা বাড়াইয়া দিলে ঐ রেখা ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া যাইবে।

ধর, একটি বস্তুর ভারকেন্দ্র বাহির করিতে হইবে। প্রথমে উহাতে A বিন্দুতে ফুটা করিয়া একটি সুতা বাঁধিয়া ঝুলান হইল [চিত্র নং 65 (b)]। তাহার পর উহার গায়ে সুতার রেখা বাড়াইয়া একটি রেখা আঁকা হইল। তাহার পর আর এক জায়গায় B বিন্দুতে ফুটা করিয়া আবার ঝুলাইয়া দিয়া [চিত্র নং 65(c)] আগের মত রেখা বাড়াইয়া দেওয়া হইল। এই দুই রেখা যে বিন্দুতে ছেদ করিবে তাহাই বস্তুর ভারকেন্দ্র।



চিত্র নং 65

বস্তুটি যদি পাতলা পাত (lamina)-এর হয় তবে ইহাই যথেষ্ট। কিন্তু যদি বস্তুটি মোটা হয় তবে আর এক জায়গায় (C বিন্দুতে) ঝুলাইয়া আগের মত আর একটি রেখা আঁকিতে হয়। এই তিনটি রেখা একটি বিন্দুতে ছেদ করিবেই। এই বিন্দু বস্তুটির ভারকেন্দ্র।

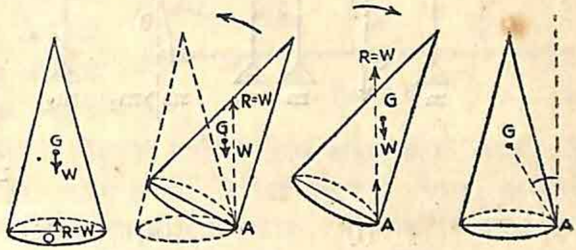
4·4. ভারসাম্যের শর্ত (Conditions of Equilibrium) : কোন বস্তু বল প্রয়োগ সত্ত্বেও স্থির থাকে কেন? তাহার কারণ ঐ বস্তু যখন ঐ বলের জন্য অন্য বস্তু বা দেওয়াল বা মেজেতে পৃষ্ঠের লম্ব দিকে (normally) বা গা ঘেঁষিয়া সমান্তরাল দিকে চাপ দেয়, তখন উহার বিরুদ্ধে প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি হয় এবং ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া সমান ও বিপরীতমুখী হওয়ায় বস্তুটি স্থির থাকে। ইহা সম্ভব হয় যদি ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া একই রেখা অনুসারী বিপরীতমুখী হয়। **যদি তাহারা সমান ও সমান্তরাল হয় কিন্তু একই রেখা অনুসারী না হয় তবে বস্তুটি**

স্থির থাকিবে না, ঘুরিতে থাকিবে, এবং যখন দুই রেখা এক হইবে তখন উহা স্থির হইবে।

উদাহরণ—নীচে ভারসাম্যের কয়েকটি উদাহরণ দেওয়া হইল।

(ক) সুস্থিত, অস্থিত ও নিরপেক্ষ সাম্য (Stable, unstable and neutral equilibriun) ঃ

চিত্র নং 66(i)-এ একটি শংকু টেবিলের উপর সাম্য অবস্থায় রহিয়াছে। উহার ভারকেন্দ্র G-তে ওজন W কার্য করিতেছে এবং টেবিলের প্রতিক্রিয়া (R) তাহার ঠিক খাড়া নীচে উপর-মুখী কার্য করিতেছে। চিত্র নং 66 (ii)-এ শংকুটিকে সামান্য ঘুরান অবস্থায় রাখা আছে। এখন প্রতিক্রিয়া আর O-তে কার্য করিবে না, কারণ শংকুটি এখন A বিন্দুতে দাঁড়াইয়া আছে।



(i) (ii) (iii) (iv)

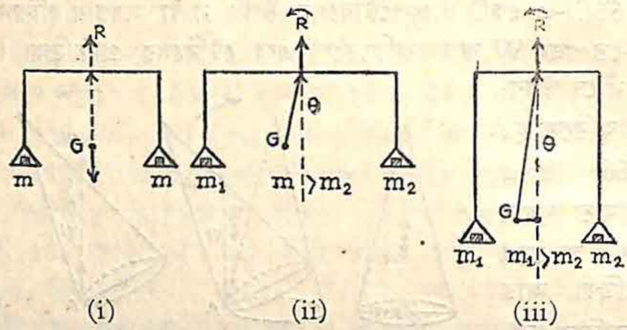
চিত্র নং 66

এখন W ও R-এর কার্যরেখা সমান্তরাল কিন্তু একই রেখায় নয়।

এই দুই বল চিত্রে প্রদর্শিত তীর চিহ্নের দিকে একটি ভ্রামক (moment) [§ 5·3 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য] সৃষ্টি করিবে। শংকুটিকে এখন ছাড়িয়া দিলে উহা ঐ দিকে ঘুরিয়া আবার 66 নং চিত্রের (i) অবস্থায় ফিরিয়া আসিবে। কিন্তু যদি শংকুটিকে 66 (iii) অবস্থায় আনা হয়, অর্থাৎ যদি A-র মধ্য দিয়া উল্লম্ব রেখাকে ভারকেন্দ্র G অতিক্রম করে তবে উল্টা দিকে ভ্রামক সৃষ্টি হইবে। ছাড়িয়া দিলে শংকু আগেকার অবস্থায় ফিরিবে না, আরও বেশী বিচ্যুত হইবে এবং উল্টাইয়া পড়িবে। **যে বস্তুকে সাম্য অবস্থা হইতে যত বেশী বিচ্যুত করিলেও উহা আগেকার অবস্থায় ফিরিয়া আসিতে পারে, তাহাকেই বস্তুর সাম্যের সুস্থিততার মাপ বলা যায়।** চিত্র নং 66 (iv)-এ প্রদর্শিত কোণ θ হইতেছে সুস্থিততার মাপ। সেজন্য কোনও বস্তুকে বেশী সুস্থিত করিতে হইলে উহার নীচের দিক ভারী করিতে হয় যাহাতে G নীচে থাকে এবং যে তলে উহা দাঁড়াইয়া থাকে তাহা বড় করিতে হয়। তোমরা লক্ষ্য করিয়াছ দোতলা বাসে উপরে ভীড় করা নিষিদ্ধ। ইহার কারণ এই।

(খ) সুবেদী ও সুস্থিত তুলা (Sensitive and Stable Balance) ঃ চিত্র নং 67 (i)'-এ একটি তুলা (Common Balance) রহিয়াছে। দুই স্কেল প্যানে সমান ভরের দুইটি ওজন রহিয়াছে এবং উপরের বিম (Beam) অনুভূমিক রহিয়াছে। উপরের ফালক্রাম (Fulcrum)-এ প্রতিক্রিয়া R কার্য করে।

আর উহার খাড়া নীচে সমস্ত তুলা ও দুই ভরের ভারকেন্দ্র G থাকে। এইবার চিত্র নং 67 (ii) লক্ষ্য কর। ইহাও নির্ভুল তুলা ; দুই প্যানে সমান ভর থাকিলে G ফালক্রামের খাড়া নীচে থাকিবে। আর এই তুলার বিমটি খুব লম্বা, স্কেল প্যান হ্রস্ব হয়। দুই স্কেল প্যানে দুইটি বিভিন্ন ভর (m_1, m_2) চাপান হইয়াছে, আর $m_1 > m_2$। সুতরাং তুলা ও দুই ওজনের ভারকেন্দ্র ফালক্রামের খাড়া নীচের অবস্থান হইতে সামান্য

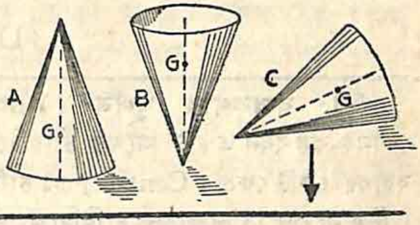


চিত্র নং 67

(ধর, 1 সে. মি.) সরিয়া আসিল। সুতরাং বিম অনুভূমিক অবস্থায় সাম্য প্রতিষ্ঠিত হইবে না। বিমটি θ কোণ ঘুরিলে পর G বিন্দু ফালক্রামের খাড়া নীচে আসিবে এবং সাম্য আবার প্রতিষ্ঠিত হইবে। এইবার চিত্র নং 67 (iii) লক্ষ্য কর। এই তুলাটিও নির্ভুল, কিন্তু বিম হ্রস্ব, স্কেল প্যান দীর্ঘ। একই ওজন m_1, m_2 দুই দিকে চাপান হইয়াছে। ফলে G বিন্দু ফালক্রামের খাড়া নীচ হইতে 1 সে. মি.-এর কম সরিবে। যদি 1 সে. মি. সরে, তাহা হইলেও খাড়া রেখা হইতে যে কোণ (θ) সরিবে তাহা (ii)-এর কোণ অপেক্ষা অনেক কম হইবে। সুতরাং বিমটি অনুভূমিক অবস্থান হইতে সামান্য ঘুরিলেই সাম্য প্রতিষ্ঠিত হইবে। সুতরাং দুই প্যানের ওজনের অসমানতা (inequality) একই থাকিলে চিত্র নং 67 (ii) বিমের ঘুরা বেশী হইবে, অর্থাৎ (ii)-এর তুলা (iii)-এর তুলা অপেক্ষা বেশী সুবেদী। কিন্তু চিত্র নং 67 (iii)-এর তুলা (ii -এর তুলা অপেক্ষা বেশী সুস্থিত। ওজনের সামান্য অসমানতার জন্য (ii)-এর তুলা বেশী ঘুরিবার ফলে উহা অনেকক্ষণ দুলিবে। (iii)-এর তুলা সামান্য দুলিয়াই স্থির হইবে।

4·5. ভারসাম্যের বিভিন্ন অবস্থা (Different States of Equilibrium) ঃ পূর্বের অনুচ্ছেদ হইতে বুঝিয়াছ, কোনও বস্তুর ভারসাম্যের বিভিন্ন অবস্থা আছে। চিত্র নং 68-তে একটি শংকুই তিনভাবে রাখা আছে। প্রথম অবস্থায় (P) শংকুটি ভূমিতলের উপর রাখা আছে। উহাকে অনেকখানি ঘুরাইলেও ছাড়িয়া দেওয়া মাত্র উহা আবার স্বস্থানে ফিরিয়া আসিবে। চিত্র নং 66 পরীক্ষা করিয়া তোমরা ইহা বুঝিয়াছ। দ্বিতীয় অবস্থায় (Q) শংকুটি শীর্ষবিন্দুর উপর খাড়াভাবে দাঁড়াইয়া আছে। এটি অবাস্তব, বাস্তবে ইহা হয় না। কিন্তু ভারসাম্যের

শর্ত পূরণ হইয়াছে। সুতরাং তত্ত্বের দিক্ হইতে বলিতে হয় এই অবস্থা সম্ভব। ঐ অবস্থায় যত সূক্ষ্মভাবে রাখা হউক না কেন শংকুটি উল্টাইয়া পড়িবে। তাহার কারণ, তত্ত্বগতভাবে ঠিক খাড়াভাবে থাকিলে ওজন ও প্রতিক্রিয়া একই রেখা অনুযায়ী হইবে, কোনও ভ্রামক সৃষ্টি হইবে না। কিন্তু অতি সামান্য সরিলেই একটি ভ্রামক সৃষ্ট হইবে, এবং শঙ্কুটি ঘুরিতে থাকিবে এবং যতই ঘুরিবে ততই ভ্রামক প্রবল হইবে। ফলে উহা উল্টাইয়া যাইবে। সুতরাং A চিত্রে শংকুর ভারসাম্য **সুস্থিত**, B চিত্রে **অস্থিত**। আবার C চিত্রে শংকুটি শোয়ান অবস্থায় রাখা আছে। উহাকে নড়াইয়া দিলে ভারকেন্দ্র G শংকুটি যে রেখার উপর টেবিলে পড়িয়া আছে তাহার উপরেই থাকে। কোনও ভ্রামকের সৃষ্টি হয় না। উহা আগেকার অবস্থানে ফিরিতে চায় না, বা অন্য কোনও নূতন অবস্থানেও যাইতে চায় না। ভারসাম্যের এই অবস্থাকে বলে **নিরপেক্ষ সাম্য** (Neutral equilibrium)।



চিত্র নং 68

উপরে যাহা পড়িলে তাহা সমস্তই স্থিতীয় ভারসাম্যের বিভিন্ন অবস্থা। কিন্তু গতিশীল অবস্থায়ও ভারসাম্য (Dynamic equilibrium) আসিতে পারে। চিত্র নং 68B-তে শংকু পড়িয়া যায়, স্থির থাকে না। কিন্তু উহাকে ঐ অবস্থায় রাখিয়া যদি জোরে অনুভূমিক তলে ঘুরাইয়া দেওয়া যায় তবে উহা ঐ ভাবে ঘুরন্ত অবস্থায় থাকিবে না। ইহা তোমরা নিজেরাই চেষ্টা করিয়া করিতে পার। একটি লাট্টু জোরে ঘুরাইলেই তাহা দেখিতে পারিবে। এই অবস্থায় ভারসাম্য হইল গভীর ভারসাম্য। ঘূর্ণন বন্ধ হইলেই দেখিবে শংকু বা লাট্টু কাৎ হইয়া পড়িয়া গিয়াছে।

প্রশ্নমালা

1. একটি বস্তুর ভর কেন্দ্র কাহাকে বলে? বস্তুর ভর কেন্দ্র বাহির করিতে হইলে যে পরীক্ষা পদ্ধতি অনুসরণ করিতে হয়, তাহার বিবরণ দাও।

2. ভারকেন্দ্রের সংজ্ঞা দাও। ভরকেন্দ্র ও ভারকেন্দ্রের পার্থক্য কি? একটি একই রকম বেধসম্পন্ন ধাতব সামন্তরিকের ভার কেন্দ্র কিভাবে বাহির করা যায়, তাহার বিবরণ দাও।

3. একটি সমবেধসম্পন্ন যে কোন আকারবিশিষ্ট ধাতব পাতের ভার কেন্দ্র কিভাবে পরীক্ষা দ্বারা বাহির করা যায়, তাহার বিবরণ দাও।

4. বিভিন্ন প্রকারের সাম্যের বর্ণনা দাও। স্থৈতিক ও গতিয় সাম্যের প্রভেদ কি?

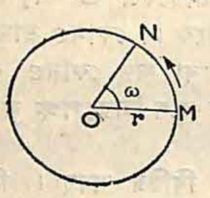
5. একটি সুবেদী বাটখাড়ার কি কি প্রয়োজনীয়তা, তাহা বুঝাইয়া লিখ।

6. কি কি অবস্থায় একটি তুলাযন্ত্র সুস্থিত হয়? সুস্থিততা বাড়াইতে গেলে কেন সুবেদিত্ব কমিয়া যায়, তাহার বর্ণনা দাও?

পঞ্চম পরিচ্ছেদ

বৃত্তীয় গতির গতিবিদ্যা
(Dynamics of Circular Motion)

5·1. বস্তুকণার ঘূর্ণন (Rotational Motion of a Particle) : কোনও বস্তু যখন একটি অক্ষের চারিদিকে ঘোরে, তখন বস্তুটির প্রতি কণা একটি বৃত্ত বরাবর একটি কেন্দ্র (Centre)-এর চারিদিকে ঘুরিতে থাকে। ধর, একটি বস্তুকণা (চিত্র নং 69) O-কেন্দ্রের চারিদিকে তীর চিহ্নিত দিকে সমদ্রুতিতে ঘুরিতেছে। মনে কর, উহা কোনও মুহূর্তে M-বিন্দুতে ছিল এবং 1 সেকেণ্ড পরে N-বিন্দুতে আসিয়াছে। তাহা হইলে 1 সেকেণ্ডে বস্তুকণা ও কেন্দ্রের সংযোগকারী ব্যাসার্ধ OM হইতে ∠MON ঘুরিয়া ON-এ আসিয়াছে। এখানে বৃত্তচাপ MN হইবে বস্তুকণার দ্রুতি (speed) বা **রৈখিক বেগ** (linear velocity) আর ∠MON বা ω হইবে উহার **কৌণিক বেগ** (angular velocity)। যদি বৃত্তচাপ MN-এর দৈর্ঘ্য হয় 5 সে. মি. এবং ∠MON হয় 3°, তবে উহার দ্রুতি হইবে 5 সে. মি./. সেকেণ্ড ; উহার কৌণিক গতি হইবে 3°/ সেকেণ্ড।



চিত্র নং 69

কৌণিক বেগ ও রৈখিক বেগের মধ্যে সম্পর্ক (**Relation between Angular Velocity and Linear Velocity**) : তোমরা জান, ত্রিকোণমিতি অনুযায়ী যদি কোণের একক হয় রেডিয়ান তবে চিত্র নং 69-এর কোণ ω রেডিয়ান অর্থাৎ

$$\omega = \frac{\text{বৃত্তচাপ MN}}{\text{ব্যাসার্ধ OM}}$$

যেহেতু বস্তুকণা বৃত্তচাপ MN এক সেকেণ্ডে অতিক্রম করে। সুতরাং উহার দ্রুতি বা রৈখিক বেগ হইবে MN প্রতি সেকেণ্ড বা v। আর উহার কৌণিক বেগ হইবে ω প্রতি সেকেণ্ড। তাহা হইলে উহার রৈখিক বেগ=কৌণিক বেগ × ব্যাসার্ধ

$$v = \omega r \qquad \ldots\ldots \qquad \ldots\ldots \quad (5·1·1).$$

এই সূত্র অনুযায়ী, কোনও অক্ষকে কেন্দ্র করিয়া ঘুরিতেছে এমন বস্তুর যে কোনও কণার রৈখিক বেগ ঐ অক্ষ হইতে কণাটির দূরত্বের সহিত সমানুপাতিক এবং ঐ দূরত্ব ও উহার কৌণিক বেগের গুণফলের সমান। সুতরাং ঐ বস্তুর ভিন্ন ভিন্ন কণার রৈখিক বেগ ভিন্ন ভিন্ন হইবে, দূরের কণার বেগ বেশী হইবে, কিন্তু কৌণিক বেগ সকলেরই সমান।

কৌণিক ত্বরণ (**Angular Acceleration**) ঃ ঘূর্ণীয়মান বস্তুর ঘূর্ণন বেগ বদলাইতে পারে। একটি গাড়ী যখন চলিতে আরম্ভ করে তখন তাহার চাকার ঘূর্ণন বেগ ক্রমশঃ বাড়িতেছে দেখা যায়। আবার যখন ব্রেক কষা হয় তখন দেখা যায় উহার ঘূর্ণন বেগ কমিতেছে। সুতরাং চাকার যে কোনও বিন্দুর কৌণিক বেগ সময়ের সহিত বাড়িতে অথবা কমিতে পারে। এই বৃদ্ধি বা হ্রাস সময়ের সহিত যদি সমহারে (uniform) হয় তবে এই পরিবর্তনের হারকে বলা হয় কৌণিক ত্বরণ অর্থাৎ ইহা হইবে একক সময়ে কৌণিক বেগের পরিবর্তনের সমান। যদি কোনও মুহূর্তে কোনও ঘূর্ণায়মান বস্তুর কৌণিক বেগ হয় ω_1, এবং t সেকেণ্ড পরে ω_2, আর এই পরিবর্তন যদি সমহারে হইয়া থাকে, তবে $\frac{\omega_2 - \omega_1}{t}$ হইবে উহার কৌণিক ত্বরণ। যদি সমহারে না হয় তবে উহা হইবে ঐ সময়ের গড় কৌণিক ত্বরণ।

উদাহরণ ঃ একটি চাকা একটি কক্ষকে কেন্দ্র করিয়া মিনিটে 150 বার ঘুরিতেছে। চাকার যে কোনও বিন্দুর কৌণিক বেগ কত হইবে বাহির কর। যদি চাকাটির ব্যাসার্ধ হয় $3\frac{1}{2}$ ফুট, তবে উহার পরিধির যে কোনও বিন্দুর রৈখিক বেগ কত হইবে ?

এক মিনিটে যত কোণ অতিক্রম করে, তাহা $= 150 \times 2\pi = 300\pi$ রেডিয়ান ;

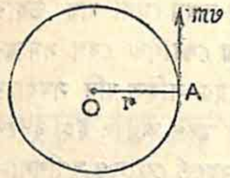
$\therefore$ কৌণিক বেগ $= \frac{300\pi}{60} = 5\pi$ রেডিয়ান প্রতি সেকেণ্ড ; আর নির্ণেয় রৈখিক বেগ $= 3\frac{1}{2} \times 5\pi = \frac{7}{2} \times 5 \times \frac{22}{7} = 55$ ফুট/সেকেণ্ড।

5·2. ভ্রামক (Moment) ঃ কৌণিক ভরবেগ (Angular Momentum) ঃ জাড্য ভ্রামক (Moment of Inertia) ঃ কোনও বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া ঘুরিবার প্রবণতাকে বলে **ভ্রামক** (Moment)। ধর, একটি বস্তুকণা, যাহার ভর m, একটি নির্দিষ্ট দিকে v বেগ সহ চলিতেছে। উহাই তাহার গতীয় জাড্য অবস্থা। তখন উহার ঘুরিবার কোনও প্রবণতা নাই, কিন্তু চলিবার প্রবণতা আছে। এই চলিবার প্রবণতাই উহার ভরবেগ, mv—যাহা দ্বিতীয় পরিচ্ছেদে পড়িয়াছ। জাড্য ধর্মের জন্য এই ভরবেগ সংরক্ষণ করিবার একটি প্রবণতা আছে।

এখন মনে কর ঐ বস্তু কণাটি একটি বিন্দু O-র সহিত এমনভাবে সংযুক্ত, যে উহা O-কে কেন্দ্র করিয়া একটি r ব্যাসার্ধের বৃত্তের পরিধি অনুসরণ করিয়া ঘুরিতে পারে (চিত্র নং 70)।

যদি ঐ কণার ঐ ব্যাসার্ধ OA-র লম্বদিকে একটি v-বেগ থাকে তবে উহা ঐ দিকে চলিতে পারিবে না—উহা v দ্রুতি সহ একটি বৃত্তের পরিধি অনুসরণ করিয়া O-র চারিদিকে ঘুরিবে। এই ঘুরিবার প্রবণতা উহার রৈখিক ভরবেগ mv এবং ব্যাসার্ধের দৈর্ঘ্য r-এর উপর নির্ভরশীল। এই ঘুরিবার বা আবর্তনের প্রবণতা হইবে ঐ **ভরবেগের ভ্রামক** (Moment of Momentum) এবং উহার মান হইবে $mv \times r$; ইহাই হইতেছে বস্তুকণাটির **কৌণিক ভরবেগ** (**Angular**

Momentum)। চলমান বস্তু যেমন উহার ভরবেগ সংরক্ষণ করিতে চেষ্টা করে সেইরূপ আবর্তনশীল বস্তু এই কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণ করার চেষ্টা করে। বস্তুকণাটির প্রতি মুহূর্তে একটি রৈখিক ভরবেগ আছে, কিন্তু যেহেতু উহা নিজ বৃত্ত ছাড়িয়া কোথাও যাইতে পারে না এবং এই ভরবেগ ক্রমাগত দিক পালটাইতেছে, সেহেতু সামগ্রিকভাবে উহার কোনও রৈখিক ভরবেগ নাই; উহার একটি কৌণিক ভরবেগ আছে। ইহার মান—



চিত্র নং 70

$$=mvr=m(\omega r)r \quad [\text{ সমীকরণ } (5\cdot1\cdot1) \text{ হইতে }]$$
$$=(mr^2)\omega \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (5\cdot2\cdot1)$$

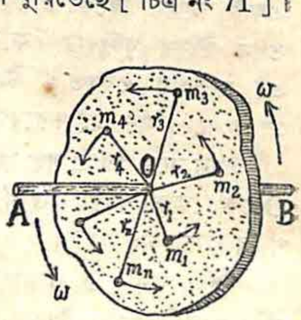
ইহার একক সি.জি.এস পদ্ধতি অনুযায়ী, 1 গ্রাম-সে. মি.^{2}/সেকেণ্ড।

তোমরা জান, কোনও বস্তুকণার রৈখিক ভরবেগ $= mv$

আবার সেই বস্তুকণার যদি কৌণিক বেগ থাকে তবে উহার কৌণিক ভরবেগ $=(mr^2)\times\omega$।

দেখা যাইতেছে রৈখিক ভরবেগে রৈখিক বেগের সহযোগে ভরের যে ভূমিকা, কৌণিক আবর্তনে কৌণিক বেগের সহযোগে ভর নয়, ভর এবং যে বৃত্তের পরিধি অনুসরণ করিয়া আবর্তন তাহার ব্যাসার্ধের বর্গফলের গুণফল (অর্থাৎ mr^2) তাহার অনুরূপ ভূমিকা গ্রহণ করে। সেজন্য গুণফলকে একটি নূতন রাশি বলা হইয়াছে। ইহার নাম **জাড্য ভ্রামক** (Moment of Inertia) আবর্তনে ইহা সাধারণ ভরের স্থান অধিকার করে। ইহার একক 1 গ্রাম-সে. মি.^{2} (সি. জি. এস. পদ্ধতি অনুযায়ী)।

এইবার ধর, বস্তুকণার বদলে একটি ত্রিমাত্রিক (Three dimensional) বস্তু একটি অক্ষের চারিদিকে একটি নির্দিষ্ট কৌণিক বেগে ঘুরিতেছে [চিত্র নং 71]। এই বস্তু বহু বস্তুকণা লইয়া গঠিত। মনে কর, উহাদের ভর যথাক্রমে m_1, $m_2 \cdots\cdots m_n$। উহারা একটি অক্ষকে প্রদক্ষিণ করিতেছে। প্রত্যেক কণা হইতে ঐ অক্ষের উপর লম্ব টানিলে ঐ অক্ষ হইতে তাহাদের দূরত্ব পাওয়া যায়। ধর, উহাদের দূরত্ব যথাক্রমে r_1, $r_2, \cdots\cdots r_n$। তাহা হইলে ঐ বস্তুকণাগুলির প্রত্যেকে অক্ষের উপর নিজ নিজ প্রস্থচ্ছেদের (perpendicular section) তলে যথাক্রমে $r_1, r_2, \cdots\cdots r_n$ ব্যাসার্ধের বৃত্ত একই



চিত্র নং 71

কৌণিক বেগে অনুসরণ করিয়া ঘুরিতে থাকিবে। মনে কর এই কৌণিক বেগ ω। ভিন্ন ভিন্ন ব্যাসার্ধের জন্য একই কৌণিক বেগ সত্ত্বেও রৈখিক বেগ ভিন্ন ভিন্ন হইবে; যেমন, $v_1, v_2, \cdots\cdots v_n$। ফলে উহাদের কৌণিক ভরবেগ হইবে যথাক্রমে

$m_1 v_1 r_1, m_2 v_2 r_2 \cdots\cdots m_n v_n r_n$। সুতরাং সমগ্র বস্তুটির কৌণিক ভরবেগ হইবে,

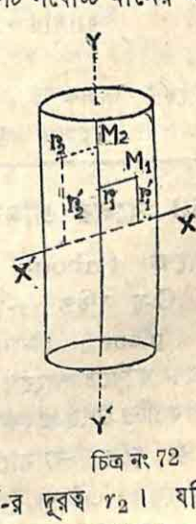
$$m_1 v_1 r_1 + m_2 v_2 r_2 + \cdots\cdots m_n v_n r_n$$
$$= m_1 r_1^2 \omega + m_2 r_2^2 \omega + \cdots\cdots\cdots m_n r_n{}^2 \omega$$
$$= (m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \cdots\cdots\cdots m_n r_n{}^2) \omega$$
$$= \omega \sum mr^2 = \mathrm{I}\omega \quad [\mathrm{I} = \sum mr^2] \quad \cdots \quad \cdots (5\cdot2\cdot2)$$

যদি বস্তুটির কোনও দিকে চলন গতি (translational motion) থাকিত, তবে প্রতি বস্তুকণার একই গতি বেগ v থাকিত। তাহা হইলে বস্তুটির রৈখিক ভরবেগ হইত $m_1 v + m_2 v + m_3 v + \cdots\cdots\cdots m_n v$

$$= v \sum m = \mathrm{M}v \quad [\mathrm{M} = \text{বস্তুর ভর}] \quad \cdots \quad \cdots (5\cdot2\cdot3)$$

নিউটনের প্রথম গতিসূত্র অনুযায়ী প্রতি বস্তুর জাড্য ধর্ম আছে। যাহার ফলে উহা সব সময়েই স্থিতাবস্থা (state of rest) বা সমগতি (state of uniform motion) বজায় রাখার জন্য চেষ্টা করে। ঐ অবস্থা বদলাইতে হইলে বলপ্রয়োগ প্রয়োজন। এবং এই প্রয়োজনীয় বল বস্তুর ভরের সহিত সমানুপাতিক। সুতরাং এই জাড্য বস্তুর ভরের উপর নির্ভরশীল।

সমীকরণ (5·2·2) ও (5·2·3) তুলনা করিলে বোঝা যায় যে রৈখিক চলনে ভরের যে ভূমিকা, আবর্তনে ($\sum mr^2$)-এরও একই ভূমিকা। সুতরাং এক্ষেত্রে বস্তুর জাড্য কেবল উহার ভরের উপর নির্ভর করে না, উহার ভর ও আয়তনের উপরও নির্ভর করে। ইহাই বস্তুর ঐ অক্ষের সাপেক্ষে জাড্য ভ্রামক। কারণ, আবর্তন অক্ষ হইতে ভিন্ন ভিন্ন বস্তুকণার দূরত্ব, বা r-এর বিভিন্ন মান শূন্য হইতে একটি সর্বোচ্চ মানের মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকিবে। ধর, দুইটি ভিন্ন উপাদানে তৈয়ারী দুইটি বস্তুর একই ভর কিন্তু আয়তন ভিন্ন। সেখানে বড় বস্তুটির বেলায় r-এর সর্বোচ্চ মান ছোট বস্তুটির r-এর সর্বোচ্চ মান অপেক্ষা বেশী। সুতরাং একই ভর সত্ত্বেও বড় বস্তুটির জাড্য ভ্রামক বেশী। মনে কর ছোট বস্তুটির r-এর সর্বোচ্চ মান R, বড়টির R_1; সর্বনিম্ন মান উভয়েরই শূন্য। আবার, একই বস্তুর বিভিন্ন অক্ষের সাপেক্ষে জাড্য ভ্রামক বিভিন্ন হইবে। চিত্র 72 পরীক্ষা করিলে ইহা বুঝিতে পারিবে। যখন উহা X′OX-অক্ষের চারিদিকে আবর্তন করে, তখন অক্ষ হইতে বস্তুকণা M_1′এর দূরত্ব r_1' : M_2-র দূরত্ব r_2' ; আর যখন উহা YOY′ অক্ষের চারিদিকে আবর্তন করে তখন অক্ষ হইতে M_1-এর দূরত্ব r_1, M_2-র দূরত্ব r_2। যদি ঐ বস্তুকণাগুলির ভর হয় যথাক্রমে m_1, $m_2, \cdots m_n$, তবে যেহেতু X′OX হইতে



চিত্র নং 72

দূরত্বের সর্বোচ্চ মান YOY′ হইতে দূরত্বের সর্বোচ্চ মান অপেক্ষা বেশী। কিন্তু তাহাদের ভর একই। সুতরাং $\sum mr_2$-এর মান YOY′ সাপেক্ষে যাহা, X′OX সাপেক্ষে তাহা হইতে বেশী। সুতরাং কোনও বস্তুর জাড্য ভ্রামক বলিতে কোন্ অক্ষের সাপেক্ষে তাহা বলা প্রয়োজন। নহিলে উহা অর্থহীন হয়।

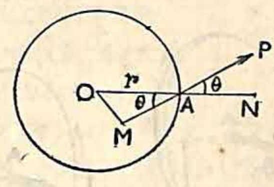
আবর্তনের কার্যকর ব্যাসার্ধ (Radius of Gyration)—ধর, আবর্তিত বস্তুর ভর $M = m_1 + m_2 + \cdots\cdots m_n$। ধর, $m_1r_1{}^2 + m_2r_2{}^2 + \cdots\cdots m_nr_n{}^2$-কে সমগ্র ভর M-এর মাধ্যমে প্রকাশ করা হইল। এবং, $m_1r_1{}^2 + m_2r_2{}^2 + \cdots\cdots m_nr_n{}^2 = Mk^2$ [k হইতেছে একটি কাল্পনিক দৈর্ঘ্য]। এই কাল্পনিক দৈর্ঘ্যকে বলে বস্তুটির ঐ অক্ষের আপেক্ষে **আবর্তনের কার্যকর ব্যাসার্ধ**।

কয়েকটি প্রতীকস্বরূপ বস্তুর জাড্য ভ্রামক—

বস্তু (ভর = M)	অক্ষ	জাড্য ভ্রামক (I)
আয়তপাত (Rectangular Lamina) দুইবাহু যথাক্রমে a, b	(i) এক বাহুর (a-র) সমান্তরাল ও কেন্দ্রগ	$\frac{1}{2}Ma^2$
	(ii) অক্ষপাতের কিনারায়	$\frac{1}{3}Ma^2$
	(iii) অক্ষ কেন্দ্রগ ও পাতের তলের অভিলম্বে	$\frac{1}{12}M(a^2+b^2)$
গোল পাত ব্যাসার্ধ = R	(i) অক্ষকেন্দ্রে পাতের অভিলম্বে	$\frac{1}{2}Mr^2$
	(ii) অক্ষ ব্যাস	$\frac{1}{4}Mr^2$
বেলুন দৈর্ঘ্য = l ; ব্যাসার্ধ = R	(i) অক্ষবেলুনের অক্ষ	$\frac{1}{2}Mr^2$
	(ii) অক্ষবেলুনের কেন্দ্রগ ও উহার অক্ষের অভিলম্বে	$M\left(\frac{l^2}{12}+\frac{R^2}{4}\right)$
নীরেট গোলক ব্যাসার্ধ = R	অক্ষ যে কোনও ব্যাস	$\frac{2}{5}MR^2$

5.3 বলের ভ্রামক (Moment of a Force): একটি বিন্দুর সাপেক্ষে (about a point): মনে কর, A একটি বস্তু একটি বিন্দু O-র সহিত r-দূরত্বে এমনভাবে সংযুক্ত আছে যে উহা যে কোনও তলে (plane) O-কে কেন্দ্র করিয়া r-ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তের পরিধি অনুসরণ করিতে পারে। অন্য কোনও দিকে চলিতে পারে না। এইবার ধর একটি বল P বস্তুটির উপর প্রযুক্ত হইল। তাহা হইলে বস্তুটির OA ও বল P'র দিকের অন্তর্ভুক্ত তলে r-ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তের পরিধি অনুসরণ করিয়া ঘুরিবার প্রবণতা দেখা দিবে। এই ঘুরাইবার প্রবণতা হইতেছে O-বিন্দুর সাপেক্ষে P-বলের ভ্রামক। ইহার মান হইবে P-বলের মান এবং O হইতে P-বলের দিকের উপর নিক্ষিপ্ত লম্বের

গুণফল, এক্ষেত্রে P×OM। যদি OM ও OA-র ধনাত্মক দিকের কোণ হয় θ তবে $OM = OA \sin\theta = r \sin\theta$। সুতরাং এখানে **O-র সাপেক্ষ P-বলের ভ্রামক হইবে** $P r \sin\theta$। যদি P বলের দিক OA-র লম্বের দিকে হয়, তবে ঐ ভ্রামক হইবে P×r। ইহা একটি ভেক্টর রাশি।

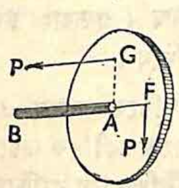


চিত্র নং 73

(ii) **একটি অক্ষের সাপেক্ষে (about an axis)ঃ** ধর, একটি দৃঢ় গোলাকার চাকা একটি ধুরার (spindle) সহিত এমনভাবে সংযুক্ত, যে উহা ঐ ধুরাকে অক্ষ করিয়া ঘর্ষণহীনভাবে ঘুরিতে পারে [চিত্র 74]।

উহাকে সর্বাপেক্ষা সহজে ঘুরাইতে হইলে উহার পরিধিতে যে কোনও জায়গায় শক্ত করিয়া ধরিয়া স্পর্শকদিকে (tangentially) বল প্রয়োগ করিতে হয়। যদি অন্য কোনও দিকে বল প্রয়োগ করা হয় তবে বেশী বল লাগে। চাকাটির উপর যে কোনও স্থানে পেরেক পুঁতিয়া একটি দড়ির সাহায্যে এই বল প্রয়োগ করা যায়। অক্ষ হইতে যত কাছে পেরেক পুঁতিয়া বল প্রয়োগ করা হইবে, তত বেশী বল লাগিবে (চিত্র নং 75)। এখানে প্রযুক্ত বল চাকাকে বলের দিকে লইয়া যাইতে পারে না। উহাকে অক্ষের চারিদিকে ঘুরায় এবং প্রযুক্ত বলের এই ঘুরাইবার প্রবণতাকে বলে ঐ **বলের ভ্রামক।** দেখা যাইতেছে, এই বলের ভ্রামক আলাদাভাবে দুইটি বিষয়ের সহিত সমানুপাতিক, যথা, (i) প্রযুক্ত বলের পরিমাণ, ও (ii) বলের ক্রিয়া রেখা (line of action) হইতে অক্ষের লম্ব দূরত্ব (perpendicular distance)। সুতরাং কোনও দৃঢ় বস্তুর উপর (যদি উহা কোনও অক্ষের চারিদিকে ঘুরিবার মত সংযুক্ত থাকে) প্রযুক্ত বলের ভ্রামক হইবে ঐ বল ও ঐ অক্ষ হইতে বলের ক্রিয়া রেখার দূরত্বের গুণফল। সেই জন্যেই, কোনও দরজাকে কব্জা হইতে যত দূরে সম্ভব তত দূরে দরজার তলের লম্বদিকে সর্বাপেক্ষা কম বল প্রয়োগ করিয়া খোলা বা বন্ধ করা যায়।

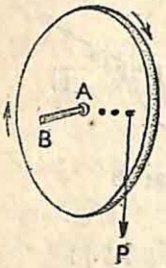
যদি এই ঘূর্ণন ঘড়ির কাঁটা ঘুরিবার দিকের বিপরীত দিকে হয় তবে উহার দিক ধনাত্মক হইবে। ঘড়ির কাঁটা ঘুরিবার দিকে ঘূর্ণন হইলে ঐ দিক ঋণাত্মক হইবে। সুতরাং চিত্র 74-তে দৃষ্ট চাকায় প্রযুক্ত বলের ভ্রামক হইবে $-P \times (AF)$।



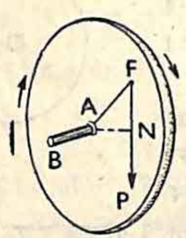
চিত্র নং 74

যদি চাকাটির উপর বল স্পর্শকদিকের বদলে কোন তির্যক (oblique) দিকে প্রয়োগ করা হয় [চিত্র 75] তবে বলের ভ্রামক হইবে, $-P \times (AN)$; এখানে AN হইতেছে A হইতে বলের ক্রিয়ারেখার উপর নিক্ষিপ্ত লম্ব। যদি AF ব্যাসার্ধের দিক ও P বলের ক্রিয়ারেখার অন্তর্ভুক্ত কোণ হয় θ, তবে $AN = AF \sin\theta$, এবং বলের ভ্রামক $= P \times (AF) \sin\theta$ (চিত্র নং 76)।

এখন, চাকাটিকে ঘুরাইতেছে কে? প্রযুক্ত বল নহে, বলের ভ্রামক ঘুরাইতেছে, এবং যে কোনও দিকে নহে, দুইটি পরস্পর বিরোধী দিকের একটি দিকে। সুতরাং চিত্র নং 74-তে দেখান চাকার আবর্তন বন্ধ করিতে হইলে উহার যে কোনও স্থানে এমন একটি বল এমন দিকে প্রয়োগ করা যাইতে পারে, যাহাতে শেষোক্ত বলের ভ্রামক $+P\times(AF)$-এর সমান। [চিত্র 75 দ্রষ্টব্য ; অর্থাৎ $P\times(AF)=P_1\,(AG)$।

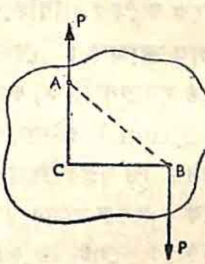


চিত্র নং 75



চিত্র নং 76

দ্বন্দ্ব (Couple) : যদি কোনও দৃঢ় বস্তুর দুই বিন্দুতে সমান অথচ বিপরীতমুখী সমান্তরাল বল (equal unlike parallal forces) প্রয়োগ করা হয়, তবে তাহাকে বলা হয় **দ্বন্দ্ব**। ইহার ফলে বস্তুটির ঘুরিবার প্রবণতা হয়। এই ঘুরিবার প্রবণতার মান হইল ঐ **দ্বন্দ্বের ভ্রামক** (moment of the couple)। ইহার পরিমাণ হইল যে কোনও বলের পরিমাণ ও ঐ দুই বলের ক্রিয়ারেখার মধ্যবর্তী লম্ব দূরত্ব। চিত্র নং 77 দেখ। দৃঢ় বস্তুটির A ও B বিন্দুতে দুইটি বিপরীতমুখী সমান সমান্তরাল বল (P, P) কার্য করিতেছে এইবার PA-কে বাড়াইয়া দাও ও B হইতে উহার উপর লম্ব আঁক, ধর BC। এখানে দ্বন্দ্বের ভ্রামক$=-P\times$ BC)। ইহার দিক আগেকার নির্দেশিত নিয়ম অনুযায়ী। এই দ্বন্দ্ব ভ্রামকের আর এক নাম **টর্ক** (torque)।



চিত্র নং 77

মনে রাখা দরকার যে, চিত্র নং 75-এ দেখান চাকাতে P-বলও একটি টর্ক সৃষ্টি করিয়াছে ; কারণ P-বল চাকাটিকে নিজের দিক বরাবর লইয়া যাইবার চেষ্টা করিবে, কিন্তু ধুরা (spindle) নিউটনের তৃতীয় সূত্র অনুযায়ী সমান বল বিপরীত দিকে প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করিয়া বাধা দিবে। এই দুই বল একটি দ্বন্দ্ব (সুতরাং টর্ক) সৃষ্টি করিবে, এবং উহার ভ্রামক অনুযায়ী আবর্তন প্রবণতা সৃষ্টি করিবে।

টর্ক প্রয়োগের ফল : কোনও অক্ষকে কেন্দ্র করিয়া ঘুরিতে পারে এমন একটি দৃঢ় বস্তুতে টর্ক প্রয়োগ করিলে বস্তুটি ঘুরিবে, অর্থাৎ উহাতে কৌণিক ভরবেগ সৃষ্টি হইবে এবং এই কৌণিক ভরবেগ সময়ের সহিত একটি নির্দিষ্টহারে বাড়িতেও থাকিবে। অর্থাৎ উহাতে কৌণিক ত্বরণ সৃষ্টি হইবে। যদি বস্তুটি স্থির থাকে অথবা ধনাত্মক বা ঋণাত্মক কোনও দিকে সম কৌণিক বেগে ঘুরিতে থাকে, যে অবস্থায়ই থাকুক না কেন, একই টর্ক তাহার সহিত সমানুপাতিক একটি কৌণিক ত্বরণ সৃষ্টি করিবে—যেমন কোনও বল কোনও বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইলে বলের সমানুপাতিক

রৈখিক ত্বরণ সৃষ্টি করে [নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র অনুযায়ী]। শেষোক্ত ক্ষেত্রে, প্রযুক্ত বল = ভর × ত্বরণ।

অনুরূপভাবে, এই ক্ষেত্রে, প্রযুক্ত টর্ক = জাড্য ভ্রামক × কৌণিক ত্বরণ

বা, Γ = I × সময়ের সহিত কৌণিক বেগের পরিবর্তনের হার।

আবার Γ = সময়ের সহিত কৌণিক ভরবেগের পরিবর্তনের হার।

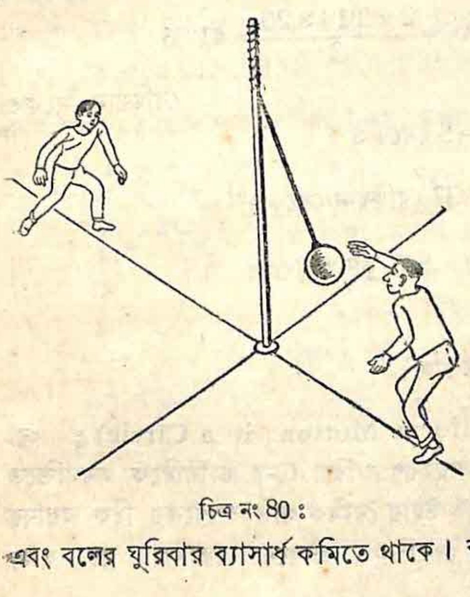
টর্কবিহীন ঘূর্ণনের ফল ঃ যদি কোন বস্তু ঘুরিতে থাকে, এবং যদি তাহার ঘুরিবার দিকে বা বিপরীতদিকে (ঘর্ষণ বা অন্য কোনও কারণ জনিত) কোনও বাহিরের টর্ক প্রযুক্ত না হয়, তবে উহার কৌণিক ভরবেগ (বা $I\omega$) কোনও অবস্থায়ই পাল্টাইবে না। যদি কোনও কারণে ঘুরিবার কালে উহার জাড্য ভ্রামক (I) কমিয়া বা বাড়িয়া যায় তবে সঙ্গে সঙ্গে উহার কৌণিক বেগ (ω) যথাক্রমে বাড়িবে ও কমিবে। একটি উদাহরণ চিত্র 78 ও 79-এ দেখান হইয়াছে। প্রথম চিত্রে বরফের উপর (ঘর্ষণ প্রায় নগণ্য) দুই হাত বাড়াইয়া ধরিয়া একটি নির্দিষ্ট কৌণিক বেগে এক শিল্পী নাচিতেছে। দ্বিতীয় চিত্রে শিল্পী হঠাৎ তাহার হাত গুটাইয়া লইয়াছে এবং সঙ্গে সঙ্গে তাহার কৌণিক বেগ বাড়িয়া গিয়াছে। কারণ দ্বিতীয় অবস্থায় তাহার জাড্য ভ্রামক কম। আর একটি উদাহরণ টেথার বলের (Tether Ball) খেলা [চিত্র নং 80]। একটি বড় খাড়া বাঁশের মাথার সহিত দড়ি দিয়া একটি বল ঝুলান আছে। খেলোয়াড় বলটিকে অনুভূমিক (Horizontal) তলে ছুঁড়িয়া দেয়। তখন বল বাঁশের চারিদিকে অনুভূমিক তলে ঘুরিতে থাকে। যতই ঘোরে, দড়িটি ততই বাঁশের গায়ে পাকাইয়া যায়।



চিত্র নং 78



চিত্র নং 79


চিত্র নং 80 ঃ

এবং বলের ঘুরিবার ব্যাসার্ধ কমিতে থাকে। বলের জাড্য ভ্রামক হইতেছে $\sum mr^2$-এর

সমান। ফলে বলের জাড্য ক্রমেই কমিতে থাকে। আর উহার কৌণিক বেগ সঙ্গে সঙ্গে বাড়িতে থাকে।

একক (units) ও সংকেত (symbols) : সংজ্ঞা অনুসারে চক্রাকার গতি সম্বন্ধীয় বিভিন্ন রাশির একক এবং সাধারণ প্রচলিত সংকেত এইরূপ—

রাশি	সংকেত	একক
কৌণিক বেগ	ω	1 রেডিয়ান/সেকেণ্ড
কৌণিক ত্বরণ		1 রেডিয়ান/সেকেণ্ড^2
জাড্য ভ্রামক	I	1 গ্রাম সে. মি.^{2}
কৌণিক ভরবেগ	$I\omega$	1 পাউণ্ড ফুট^2 (এফ. পি. এস)
টর্ক	Γ	1 ডাইন সে. মি.
		1 ফুট পাউণ্ডাল (এফ. পি. এস)

উদাহরণ : একটি চাকা (ব্যাসার্ধ 6 ইঞ্চি, ও জাড্য ভ্রামক 100 পাউণ্ড ফুট^2) প্রতি মিনিটে 400 আবর্তন করিতেছে। ব্রেক কষিয়া উহাকে 5 সেকেণ্ডে থামান হইল। প্রযুক্ত টর্কের পরিমাণ হিসাব কর। ব্রেক কষিবার দরুণ যে ঘর্ষণ বল সৃষ্টি হইল তাহা কত বাহির কর।

প্রারম্ভিক দ্রুতি = 400 আবর্তন/মিনিট

$= \frac{20}{3}$ আবর্তন/সেকেণ্ড $= n$ (ধর)

$\therefore$ প্রারম্ভিক কৌণিক বেগ $= 2\pi n = \dfrac{2 \times 3{\cdot}14 \times 20}{3} = 41{\cdot}86$ রেডিয়ান/সেকেণ্ড

সর্বশেষ কৌণিক বেগ = 0 ; সময় = 5 সেকেণ্ড

$\therefore$ কৌণিক ত্বরণ $= \dfrac{41{\cdot}86}{5} = 8{\cdot}37$ রেডিয়ান/সেকেণ্ড^2

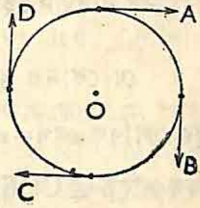
$\therefore$ টর্ক $= I \times 8{\cdot}37 = 100 \times 8{\cdot}37 = 837$ ফুট-পাউণ্ডাল

আবার, $\Gamma =$ ঘর্ষণবল $\times 0{\cdot}5$ ফুট

$\therefore$ ঘর্ষণ বল $= \dfrac{837}{0{\cdot}5} = 1674$ পাউণ্ডাল।

5·4. **চক্রাকার সমগতি (Uniform Motion in a Circle) :** ধর, একটি বস্তুবিন্দু একটি বৃত্তের পরিধি অনুসরণ করিয়া O-র চারিদিকে সমগতিতে ঘুরিতেছে। পরিধির যে কোনও বিন্দুতে উহার রৈখিক গতি স্পর্শকের দিক বরাবর [চিত্র নং 81]। ইহার দৃষ্টান্ত দৈনন্দিন জীবনে তোমরা বহু লক্ষ্য

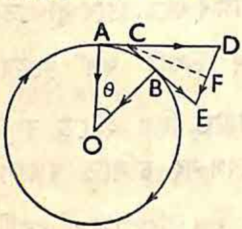
করিয়াছ। কোনও গাড়ী রাস্তায় কাদা পার হইলেই কাদার টুকরা চাকার পরিধি হইতে সবেগে স্পর্শকদিকে নিক্ষিপ্ত হয়, বিশেষতঃ যদি গাড়ী খুব জোরে চলে তবে। এইজন্যেই চাকার কিছু উপরে পরিধির আকারে মাড গার্ড (mud guard) লাগান থাকে। আবার ধর, একটি পাথরের টুকরা সুতা দিয়া বাঁধিয়া সুতার সাহায্যে শূন্যে চক্রাকারে ঘুরাণ হইল। এইবার যদি সুতাটি হঠাৎ ছাড়িয়া দেওয়া হয়, তবে দেখা যাইবে পাথরের টুকরাটি সবেগে বৃত্তের স্পর্শকদিক বরাবর চলিয়া যাইতে থাকে। ইহা হইতেই দেখা যাইতেছে, যদি বস্তুটির দ্রুতি সমই হয় তবুও প্রতি মুহূর্তে রৈখিক বেগ পরিমাণে একই থাকিলেও উহার দিক প্রতি মুহূর্তে বদলাইতেছে। তাহার মানে, অনবরত গতি বেগ বদলাইতেছে, অর্থাৎ উহার কোনও দিকে ত্বরণ আছে। এই ত্বরণের মান ও দিক হিসাব করা যায়। দেখা যায়, এই ত্বরণের দিক বৃত্তের কেন্দ্র অভিমুখী। ইহাকে বলে **অভিলম্ব ত্বরণ** (Normal Acceleration)।



চিত্র নং 81

অভিলম্ব ত্বরণ নির্ণয়ঃ ধর, একটি বস্তুবিন্দু সমদ্রুতি v সহ r-ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তের (কেন্দ্র O) পরিধি অনুসরণ করিয়া ঘুরিতেছে [চিত্র নং 82]। ধর, উহা কোনও এক মুহূর্তে A-তে আছে এবং t সেকেণ্ড পরে B-তে আছে। উভয়ক্ষণেই উহার রৈখিক বেগ, যথাক্রমে A ও B-র স্পর্শক দিকে। B-র স্পর্শককে পিছন দিকে বাড়াইলে, ধর, উহা A-র স্পর্শককে C-বিন্দুতে ছেদ করিল। এখন C হইতে দুই স্পর্শকের দিকে সমান দৈর্ঘ্যের বাহু কাটিয়া লও, যথাক্রমে CD ও CE, যাহাতে CD বা CE-র দৈর্ঘ্য v-র মানকে নির্দেশ করে। DE যোগ কর। তাহা হইলে t সেকেণ্ডে CD-বেগ CE-বেগে পরিবর্তিত হইয়াছে। উভয়েই ভেক্টর রাশি।

এখন, ভেক্টরের যোগ ও বিয়োগের নিয়ম অনুযায়ী, $\vec{CD}+\vec{DE}=\vec{CE}$



চিত্র নং 82

ইহার অর্থ, প্রারম্ভিক বেগ $=\vec{CD}$, t সেকেণ্ডে পরিবর্তন $=\vec{DE}$, এবং তাহার ফলে সর্বশেষ বেগ $=\vec{CE}$।

এখন জ্যামিতি অনুসারে, $\angle ECD=\theta$; এইবার C হইতে DE-র উপর CF লম্ব অঙ্কন কর। যেহেতু $CE=CD$, সুতরাং $DF=FE$। তাহা হইলে $\triangle FCD$ এবং $\triangle FCE$ সর্বসম। সুতরাং $\angle FCD=\frac{\theta}{2}$।

$$\therefore \quad DF=CD \sin\frac{\theta}{2}=v\sin\frac{\theta}{2}$$

$$\text{বা,} \quad DE=2DF=2v\sin\frac{\theta}{2}$$

এখন, যদি সময়ের ব্যবধান t অত্যন্ত ক্ষুদ্র ধরা হয়, তবে θ অত্যন্ত ক্ষুদ্র হইবে, এবং $\sin\frac{\theta}{2}$ হইবে $\frac{\theta}{2}$ (রেডিয়ান হিসাবে)। তাহা হইলে, t সেকেণ্ডে রৈখিক বেগের পরিবর্তনের পরিমান হইবে $2v\frac{\theta}{2}=v\theta$

∴ যে কোনও মুহূর্তে বেগের পরিবর্তনের হার বা ত্বরণ $=\frac{v\theta}{t}=v\omega$ [এখানে বস্তু বিন্দুর কৌণিক বেগ $=\omega$]। আবার এই পরিবর্তনের দিক হইবে DE, যাহা প্রারম্ভিক দিকের সহিত $\angle$CDE বা $90^\circ-\frac{\theta}{2}$ অন্তর্ভুক্ত করে। যদি t অত্যন্ত ক্ষুদ্র হয় তবে $\frac{\theta}{2}$ এতই ক্ষুদ্র হইবে যে ঐ দিককে স্পর্শকের লম্ব বলা চলে। সুতরাং ত্বরণের দিক ঘূর্ণন বৃত্তের কেন্দ্রাভিমুখী। এইজন্য এই ত্বরণকে অভিলম্ব ত্বরণ বলে। ইহার মান—

$$v\omega=\frac{rv}{r}=\frac{v^2}{r}=\omega^2 r$$

5.5. **অভিকেন্দ্র বল (Centripetal Force):** নিউটনের গতিসূত্র হইতে আমরা জানি যে, যদি কোনও বস্তু কোন দিকে ত্বরণ সহ চলে তবে বুঝিতে হইবে যে দিকে ত্বরণ সেই দিকে বাহির হইতে একটি উপযুক্ত বল বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইয়াছে। § 5·4-এ তোমরা দেখিয়াছ যদি কোনও বস্তু একটি বৃত্তের পরিধি অনুসরণ করিয়া সমগতিতে ঘুরিতে থাকে, তবে সব সময়ই ঐ বৃত্তের কেন্দ্র অভিমুখী একটি ত্বরণ বস্তুটির থাকিতে হইবে। সুতরাং সব সময়ই বস্তুটির উপর বাহির হইতে কেন্দ্র অভিমুখী একটি বল প্রযুক্ত হইবেই। এই বলকে বলে **অভিকেন্দ্র বল**। ইহার মান বস্তুর ভর × অভিলম্ব ত্বরণ, বা $\frac{mv^2}{r}$ হইবে।

উপরের সমস্ত তথ্য বিশ্লেষণ করিলে যাহা দাঁড়ায় তাহা সংক্ষেপে এইরূপ—যদি কোন বস্তু (ভর m) সমদ্রুতি v-সহ r-ব্যাসার্ধের একটি বৃত্ত প্রদক্ষিণ করে, তবে বুঝিতে হইবে যে সব সময়েই বস্তুটির উপর বাহির হইতে $\frac{mv^2}{r}$ পরিমাণ একটি বল বৃত্তের কেন্দ্রাভিমুখী দিকে প্রযুক্ত হইতেছে। আবার, এই তথ্যই বিপরীত দিক হইতে বলা যায় যে, যদি কখনও কোনও বস্তু (ভর m) কোনও দিকে v-বেগ সহ চলিতে থাকে; এবং যদি বস্তুটির উপর গতির দিকের অভিলম্বে $\frac{mv^2}{r}$ পরিমাণ বল [এখানে r একটি দৈর্ঘ্য]—প্রয়োগ করা হয়, এবং এমন ব্যবস্থা থাকে যে বস্তুটির বেগের দিক বদলাইলে প্রযুক্ত বলের দিকও সমানভাবে বদলায়, তবে বস্তুটি v সমদ্রুতি সহ r-ব্যাসার্ধের একটি বৃত্ত অনুসরণ করিয়া ঘুরিবে।

সুতরাং কোনও বস্তুকে চক্রাকারে সমদ্রুতিতে ঘুরাইতে হইলে বস্তুটিকে উপযুক্ত

দিকে উপযুক্ত অভিকেন্দ্রিক বল প্রয়োগ করিতে হয়। এই বল নানাভাবে প্রয়োগ করা যায়, যেমন যান্ত্রিক টান (mechanical tension), মহাকর্ষীয় বল, বৈদ্যুতিক আকর্ষণ (electrical attraction) প্রভৃতি। প্রথমটির উদাহরণ, সুতা দিয়া বাঁধিয়া পাথরের টুকরাকে চক্রাকারে ঘুরান। দ্বিতীয়টির সূর্য্যের চারিদিকে পৃথিবী ও অন্যান্য গ্রহের ঘূর্ণন; এবং তৃতীয়টির পরমাণুর কেন্দ্রীয়ের (nucleus) চারিদিকে ইলেকট্রনের ঘূর্ণন।

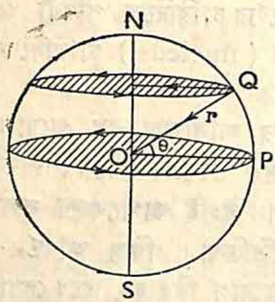
উপরের তিনটি দৃষ্টান্তেই কেন্দ্রের বস্তু চলমান বস্তুটির উপর অভিকেন্দ্র বল প্রয়োগ করে। নিউটনের তৃতীয় গতিসূত্র অনুসারে চলমান বস্তুও কেন্দ্রের উপর বিপরীত দিকে সমান বল প্রতিক্রিয়া হিসাবে প্রয়োগ করিবে। ইহাই **অপকেন্দ্র বল (Centrifugal Force)**। ইহা অভিকেন্দ্র বলের প্রতিক্রিয়া। কিন্তু আবর্তনশীল বস্তুটি যদি অক্ষের সহিত সংযুক্ত না হয় বা হঠাৎ সংযোগ ছিন্ন হয়, তবে দেখা যাইবে বস্তুটি বৃত্তের স্পর্শক দিক বরাবর ছুটিয়া যাইতেছে। আর, যদি দর্শক ও বস্তুর সহিত একই সঙ্গে একই কৌণিক বেগে ঘুরিতে থাকে, তবে সে দেখিবে বস্তুটি স্পর্শক দিকে সমবেগে চলিতেছে না, বৃত্তের ব্যাসার্ধ বরাবর কেন্দ্র হইতে দূরে ত্বরিত গতিতে (accelerated motion) চলিয়া যাইতেছে। সুতরাং তাহার দৃষ্টিতে ঐ দিকে একটি বল সৃষ্ট হইয়াছে (অর্থাৎ অপকেন্দ্রিক বল)। কিন্তু ঐ দিকে সত্য সত্যই কেহ বল প্রয়োগ করে নাই। ইহার অর্থ, আবর্তনশীল বস্তুর উপর নিজের আপেক্ষিকে আবর্তনের জন্যই একটি অপকেন্দ্র বল সৃষ্ট হয়। সেইজন্য অপকেন্দ্র বলকে ভুতুড়ে বা **ছদ্ম বল** (Pseudo force) বলা হয়। ইহার দৃষ্টান্ত তোমাদের চোখে অনেক পড়িয়াছে। বাসে চলিবার সময় যদি বাঁ দিকের জানালার পাশে বসিয়া থাক, এবং বাসটি যদি হঠাৎ ডানদিকে ঘোরে, তবে তুমি হঠাৎ জানালার উপর ধাক্কা দিবে। ইহার কারণ অপকেন্দ্র বল। অনেক মেলায় ঘোড়ার ঘুর্ণি নামে অনেকগুলি কাঠের ঘোড়া একসঙ্গে বৃত্তাকারে ঘুরিতে থাকে। তুমি যদি একটি ঘোড়ার উপর বসিয়া ঘুরিতে ঘুরিতে একটি জিনিষ ছাড়িয়া দাও, তবে মাটির উপর হইতে কোন দর্শক দেখিবে যে বস্তুটি বৃত্তের স্পর্শক বরাবর বাহির হইয়া গেল। আর তুমি নিজে দেখিবে, বস্তুটি ব্যাসার্ধ বরাবর অপকেন্দ্রের দিকে (in a direction away from the centre) বাহির হইয়া গেল। অর্থাৎ তোমার আপেক্ষিকে বস্তুটির উপর অপকেন্দ্র বল ক্রিয়া করিতেছে।

অভিকেন্দ্র ও অপকেন্দ্র বল সাধারণ বলই; সেজন্য তাহাদের একক সাধারণ বলেরই একক, যেমন, ডাইন, পাউণ্ডাল প্রভৃতি।

আরও কয়েকটি দৃষ্টান্ত—

(1) **পৃথিবীর আহ্নিক গতির জন্য বস্তুর ওজন হ্রাস**ঃ চিত্র নং 83-এ পৃথিবীকে দেখান হইয়াছে। উহা উত্তর-দক্ষিণ অক্ষের চারিদিকে

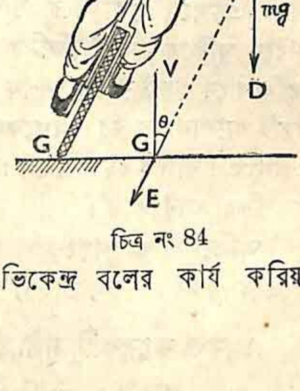
ঘুরিতেছে। বিষুবরেখার উপর একটি বস্তু (ভর m) রাখা হইয়াছে। আর একটি বস্তু (একই ভর m) θ অক্ষাংশে (latitude) রাখা হইয়াছে। উভয়ে একই সঙ্গে ভিন্ন ভিন্ন রৈখিক বেগে, কিন্তু একই কৌণিক বেগে (ধর, ω) ঘুরিবে।



চিত্র নং 83

তাহাদের ঘুর্ণন বৃত্তের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে r, r'। যদি তাহাদের পৃথিবীর সহিত একই সঙ্গে ঘুরিতে হয় তবে পৃথিবীর আপেক্ষিকে তাহাদের অপকেন্দ্র বল যথাক্রমে $m\,\omega^2\,r,\ m\,\omega^2\,r_1$। প্রথম ক্ষেত্রে অপকেন্দ্র বল $m\,\omega^2\,r$ পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে বর্হিমুখী। কিন্তু দ্বিতীয় ক্ষেত্রের বল $m\,\omega^2\,r_1$ অপকেন্দ্রিগ নয়। এই বলের অপকেন্দ্রিগ উপাংশ (Component) $m\,\omega^2\,r_1\ \cos\theta$; θ হইতেছে Q-স্থানের অক্ষাংশ (latitude)। আবার $r_1 = r\ \cos\ \theta$। সুতরাং অপকেন্দ্রগ বল $= m\omega^2 r\ \cos^2\theta$। সুতরাং উহাদের কার্যকর ওজন যথাক্রমে ($mg - m\omega^2 r$), ($mg - m\omega^2 r\cos^2\theta$)। ফলে একই ভর হইলেও বস্তুটির পরিমাপযোগ্য ওজন P-তে অপেক্ষা Q'তে বেশী। একেবারে মেরুতে এই ওজন আরও বেশী, কারণ $\theta = \pi/2$, এবং উহার ওজন একেবারেই কমিবে না।

চক্রাকারি পথে সাইকেল আরোহীর গতি ঃ নিশ্চয়ই লক্ষ্য করিয়াছ, চক্রাকার পথে সাইকেল চালাইতে আরোহীকে কেন্দ্রের দিকে হেলিতে হয়। আরোহীর অভিকেন্দ্র বল প্রয়োজন। এই বল কে প্রয়োগ করিবে? এই বলের জন্য আরোহী বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে শরীর হেলাইয়া সাইকেল চালাইতে থাকে। ফলে আরোহীর চাপ তির্যকভাবে মাটির উপর পড়ে (চিত্র নং 84)। এই চাপকে পৃথিবী পৃষ্ঠের লম্ব দিকে (AB) ও স্পর্শক (tangential) দিকে (CB) বিয়োজিত কর। চাপ AB আরোহী সহ সাইকেলের ওজন, আর চাপ CB সাইকেলকে পিছলাইতে চেষ্টা করিবে। এই শেষোক্ত চাপের বিপরীত দিকে (অর্থাৎ কেন্দ্রের দিকে) ঘর্ষণ বল সৃষ্ট হইবে। ইহাই অভিকেন্দ্র বলের কার্য করিয়া সাইকেলকে চক্রাকার পথে ঘুরাইবে।



চিত্র নং 84

প্রশ্নমালা

1. বস্তু কণার ঘূর্ণন বলিতে কি বোঝ? কৌণিক বেগ ও রৈখিক বেগের মধ্যে সম্পর্ক কি?

2. একটি রেলগাড়ীর চাকার ব্যাসার্ধ 50 সেন্টিমিটার। রেলগাড়ী ঘণ্টায় 50 কিলোমিটার বেগে চলিতেছে। ঐ চাকার কৌণিক বেগ বাহির কর।

উত্তর :—4·4 রেডিয়ান্/সেকেণ্ড

3. কৌণিক ভ্রামক ও জাড্য ভ্রামকের পার্থক্য কি? প্রমাণ কর যে একটি বস্তুর কৌণিক ভরবেগের সময়ের হার উহার উপর টর্কের সমানুপাতিক।

4. প্রমাণ কর যে একটি বস্তুর জাড্য ভ্রামক I হইলে ইহা Σmr^2

5. দেখাও যে একটি বস্তুর জাড্য ভ্রামক তাহার ঘূর্ণায়মান অক্ষের উপর নির্ভরশীল। আবর্তনের কার্য্যকর ব্যাসার্ধ কাহাকে বলে?

6. বলের ভ্রামকের একটি উদাহরণ দাও। বলের ভ্রামক কি-ভাবে পরিমিত হয়। উহার একক কি?

7. দ্বন্দ্ব কাহাকে বলে? দেখাও যে দ্বন্দ্ব একটি ভ্রামক।

8. একটি ঢিলকে দড়িদিয়া বাঁধিয়া চক্রাকারে ঘোরান হইতেছে। দেখাও যে তাহার একটি অভিলম্ব ত্বরণ রহিয়াছে। ঐ ত্বরণের মান কর?

9. একটি 100 গ্রাম ভর বিশিষ্ট গোলককে অনুভূমিত তলে 50 সেন্টিমিটার ব্যাসার্ধে ঘোরান হইতেছে। যদি বলের গতি প্রতি সেকেণ্ডে 40 সেন্টিমিটার হয় তবে অভিলম্ব ত্বরণ কত হইবে। যে দড়িদ্বারা ঘোরান হইতেছে তাহাতে টান কত হইবে?

উত্তর :—32 সে.মি./সেকেণ্ড^2 ; 3200 ডাইন্

10. অভিকেন্দ্র বল কাহাকে বলে? এক m ভর যুক্ত বস্তু চক্রাকারে v গতিবেগে ঘুরিতেছে। যদি চক্রের ব্যাসার্ধ r হয়, তবে অভিকেন্দ্র বল কত হইবে?

11. পৃথিবীর আহ্নিক গতি যদি স্তব্ধ হইয়া যায় তবে ভূপৃষ্ঠে একটি বস্তুর ওজন কমিবে কি বাড়িবে, যুক্তিদ্বারা বোঝাও।

12. একটি সাইকেল আরোহী 15 মাইল গতিবেগে চলিতে চলিতে একটি 44 ফুট ব্যাসার্ধের বক্রপথে বাঁক নিল। আরোহীকে অভিলম্বের সঙ্গে কতটা কোণ করিতে হইবে?

উত্তর :— $tan^{-1} \frac{11}{32}$

13. একটি রকেটকে ভুপৃষ্ঠে হইতে 100 মাইল উর্দ্ধে তুলিয়া চক্রাকারে পৃথিবীর চারিদিকে ঘুরাইতে হইবে। যদি 100 মাইল উর্দ্ধে অভিকর্ষজ ত্বরণ 20.58 ফুট/প্রতি সেকেণ্ড^2 হয়, তবে রকেটের গতি বাহির কর। কত সময়ে পৃথিবীকে একবার প্রদক্ষিণ করিবে?

উত্তর :—23284 ফুট/প্রতি সেকেণ্ড ; 1 ঘণ্টা 58 মিনিট 30 সেকেণ্ড।

14. একটি বস্তুকে পৃথিবীর মেরু হইতে বিষুব রেখা পর্যন্ত আনা হইল। তাহার ওজনের কি পরিবর্তন হইল, তাহা বুঝাইয়া লিখ।

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ

কার্য, শক্তি ও ক্ষমতা
(Work, Energy and Power)

6·1. **কার্য (Work) ঃ** সাধারণতঃ কার্য বলিতে আমরা বুঝি কিছু একটা করা। এই করিবার পিছনে একটা প্রচেষ্টা প্রয়োজন। প্রচেষ্টা সফল হইলে ঐ ফলের পরিমাণ হইল কার্য ; আবার প্রচেষ্টা বিফলও হইতে পারে। পদার্থ বিজ্ঞানে প্রচেষ্টা হইল বল প্রয়োগ। কোনও বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করিয়া উহাকে যদি বলের দিক বরাবর সরান যায় তবে প্রচেষ্টা সফল হয়, এবং বলা হয় কার্য করা হইয়াছে। কিন্তু বল প্রয়োগ সত্ত্বেও যদি বস্তু না সরে তবে কোন কার্য কৃত হইবে না। যদি কোন বস্তু সব রকম বাধামুক্ত হয় এবং তাহার উপর বল প্রয়োগ করা হয়, তবে উহা ঐ বলের দিক বরাবর ত্বরণ সহ চলিতে থাকিবে, এবং ঐ বল ঐ বস্তুর উপর কার্য করিবে। সাধারণতঃ কোন বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করিলে উহা যখন চলিতে চাহিবে তখন অভিকর্ষজ আকর্ষণ বা ঘর্ষণ বা অন্য কোন রকম বল উহাকে বাধা দিবে। সুতরাং বাহির হইতে প্রযুক্ত বলের জন্য যদি বস্তু চলে তবে ঐ বাধা অতিক্রম করিয়াই চলিবে। এখানে বস্তু ঐ বাধাদানকারী বলের বিরুদ্ধে কার্য করিবে। এক ব্যক্তি একটি বোঝা উপরে তুলিলে ঐ বোঝার উপর কার্য করে, আর ঐ বোঝা অভিকর্ষজ ত্বরণের বিরুদ্ধে কার্য করে। একটি গাড়ী রাস্তার উপর ঠেলিলে ঐ গাড়ীর উপর কার্য করা হয়। আর ঐ গাড়ী রাস্তার ঘর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কার্য করে। **কার্য একটি স্কেলার রাশি। উহার কোন দিক নাই।**

একটি বলের দ্বারা কৃত কার্য ঃ একটি বলের দ্বারা কৃত কার্যের মান হইতেছে ঐ বল ও উহার দিক বরাবর বলের প্রয়োগ বিন্দু যতটা সরিল তাহার গুণফল।

একটি বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল P ঐ বস্তুকে ঐ দিক বরাবর যদি S দূরত্ব সরায়, তবে কৃত কার্য হইবে, $W = P \times S$

সুতরাং ঐ বল P প্রয়োগের ফলে অন্য কোন বস্তুটি S দূরত্ব সরে, এবং বলের দিক ও সরণের দিকের মধ্যে অন্তর্ভূক্ত কোণ হয় θ, তবে—

$$W = P \times S \cos\theta \qquad \cdots(6\cdot1\cdot1)$$

একটি ভ্রামক দ্বারা কৃত কার্য ঃ যদি কোনও বস্তুর উপর একটি টর্ক (torque) প্রযুক্ত হয় তবে বস্তুটি ঘুরিবে। বস্তুটির বিভিন্ন বিন্দু অক্ষ হইতে দূরত্ব অনুসারে নানা ব্যাসার্ধের বৃত্ত অনুসরণ করিয়া একসঙ্গে ঘুরিবে। ফলে যে কোন কোণ (θ) ঘুরিবার ফলে কৃত কার্য হইবে, **টর্কের ভ্রামক** $\times\,\theta$।

6·2. কার্যের একক : যদি একক বলের প্রয়োগবিন্দু (Point of application) বলের দিক্ বরাবর একক দূরত্ব অতিক্রম করে, তাহা হইলে একক কার্য কৃত হইবে। সুতরাং বলের একক ও দূরত্বের এককের উপর কার্যের একক নির্ভর করিবে।

সি. জি. এস পদ্ধতিতে বলের চরম (absolute) একক এক ডাইন, দূরত্বের একক এক সে. মি.; সুতরাং এক ডাইন বলের প্রয়োগবিন্দু বলের দিক্ বরাবর এক সে. মি. অতিক্রম করিলে এক চরম একক কার্য কৃত হয়। এই এককের নাম ডাইন-সে. মি. বা **আর্গ** (Erg)। এই এককের পরিমাণ অত্যন্ত কম। সেজন্য ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ব্যবহার হয় 10^7 আর্গ বা এক **জুল** (Joule)। এফ.পি.এস. পদ্ধতিতে চরম একক কার্য হইবে এক **ফুট-পাউণ্ডাল** (Foot-Poundal)।

অভিকর্ষজ একক (Gravitational Unit) : সাধারণতঃ কার্যকে অভিকর্ষজ এককে প্রকাশ করা হয়, অর্থাৎ বলের একক ধরা হয় এক অভিকর্ষজ একক। এই একক পদ্ধতিতে, একক ভরকে একক দূরত্ব খাড়াভাবে (vertically) তুলিতে যে পরিমাণ কার্য করা হয় তাহাই কার্যের অভিকর্ষজ একক। সুতরাং সি. জি. এস পদ্ধতিতে এই একক হইবে এক গ্রাম ভরকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে এক সেন্টিমিটার খাড়াভাবে তুলিতে যে পরিমাণ কার্য কৃত হয় তাহা। এই এককের নাম **গ্রাম-সে. মি.**। ব্যবহারিক পদ্ধতিতে এই একক হইবে কিলোগ্রাম-মিটার। এফ.পি.এস পদ্ধতিতে ফুট-পাউণ্ড।

বিভিন্ন এককের সম্পর্ক : তোমরা জান, অভিকর্ষজ একক বল = অভিকর্ষজ ত্বরণের মান × চরম একক বল = g × চরম একক বল। আর g = 981 সে.মি./সেকেণ্ড^2 = 32·2 ফুট/সেকেণ্ড^2।

∴ 1 গ্রাম-সে. মি. = 981 আর্গ ; 1 ফুট-পাউণ্ড = 32·2 ফুট-পাউণ্ডাল।

আবার 1 পাউণ্ডাল = 1 পাউণ্ড × 1 ফুট/সেকেণ্ড^2

= 453·6 গ্রাম × 30·48 সে. মি./সেকেণ্ড^2

= 13825 ডাইন।

∴ 1 ফুট-পাউণ্ড = 32·2 ফুট-পাউণ্ডাল

= 32·2 × (30·48 সে. মি.) × 13825 ডাইন

= $1·36 \times 10^7$ আর্গ = 1·36 জুল ...6·2·1

6·3. কোন বল দ্বারা বা উহার বিরুদ্ধে কৃত কার্য : § 6·1 অনুচ্ছেদে কার্যের সংজ্ঞা হইতেই কার্যের স্বরূপ বুঝা যায়। বলের প্রয়োগ বিন্দু যদি বলের দিক্ বরাবর সরে, তবে প্রযুক্ত বল দ্বারা কার্য কৃত হয়। যদি একটি বস্তুকে নীচ হইতে উপরে তোলা হয় তবে বস্তুর নিম্নমুখী ওজনের বিরুদ্ধেই তুলিতে হয়। এখানে কার্য কৃত হয় অভিকর্ষজ বলের বিরুদ্ধে। আবার উপর হইতে ছাড়িয়া দিলে অভিকর্ষজ বলের দ্বারা

কার্য কৃত হয়। আবার একটি চলন্ত গাড়ীতে ব্রেক কষিলে গাড়ীর মন্দন হয় এবং কিছুদূর গিয়া উহা থামিয়া যায়। এখানে কৃত কার্য গাড়ীর উপরে হয়, গাড়ীর দ্বারা নয়। যেখানে বলের দিক বরাবর কার্য কৃত হয় সেখানে কার্য ধনাত্মক; অপর ক্ষেত্রে ঋণাত্মক। সমীকরণ (6·1·1) অনুযায়ী, $W=P\times S\cos\theta$; যদি $\theta=0$, $W=P$; যদি $\theta=180°$, $W=-P$; আর যদি $\theta=90°$, $W=0$। অর্থাৎ যে দিকে বল প্রযুক্ত হয় তাহার লম্ব দিকে যদি বস্তুর গতি হয়, তবে কোন কার্যই কৃত হয় না।

6·4. শক্তি (Energy): যদি কোন বস্তুর কার্য করিবার সামর্থ্য থাকে তবে বলা হয় বস্তুটির শক্তি আছে। যে অবস্থায় বস্তুটি আছে সেই অবস্থায় থাকিবার জন্য যে পরিমাণ কার্য করিবার সামর্থ্য উহার থাকে তাহাই ঐ বস্তুর শক্তি।

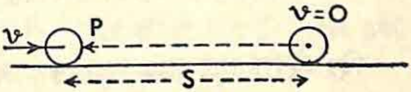
শক্তির বহু রূপ আছে। যথা, যান্ত্রিক শক্তি, তাপ শক্তি, আলোক শক্তি, চৌম্বক শক্তি, বিদ্যুৎ শক্তি, ধ্বনি শক্তি, রাসায়নিক শক্তি ইত্যাদি। এখানে আমরা কেবল যান্ত্রিক শক্তি সম্বন্ধে আলোচনা করিব। এই শক্তি থাকিলে বস্তু বল প্রয়োগ করিয়া বা অন্য কেহ উহার উপর বল প্রয়োগ করিলে তাহার বিরুদ্ধে চলিতে এবং তদ্বারা কার্য করিতে পারে। এই যান্ত্রিক শক্তি দুই প্রকারের হইতে পারে, **স্থিতি শক্তি** (Potential Energy) এবং **গতি শক্তি** (Kinetic Energy)।

স্থিতি শক্তি (Potential Energy): একটি স্প্রিংকে যদি চাপ দিয়া ছোট করিয়া রাখা হয় তবে উহা স্বাভাবিক দৈর্ঘ্যে আসিবার জন্য চেষ্টা করে এবং যে উহাকে ছোট করিয়া রাখে তাহার উপর বল প্রয়োগ করে। ছাড়িয়া দেওয়া মাত্র উহা স্বাভাবিক দৈর্ঘ্যে ফিরিয়া আসে ঐ বলের জন্য। সুতরাং উহা কার্য করে। সুতরাং ছোট অবস্থায় ঐ পরিমাণ কার্য করার সামর্থ্য নিশ্চয়ই উহার ছিল। সুতরাং ঐ অবস্থায় থাকিবার সময় উহার ঐ পরিমাণ যান্ত্রিক কার্য করিবার সামর্থ্য ছিল। উহাই তাহার স্বাভাবিক অবস্থার আপেক্ষিকে ঐ অবস্থায় অবস্থানকালে স্থিতি শক্তি। আবার ধর, একটি বস্তুকে (ভর m, অভিকর্ষজ ত্বরণ g) পৃথিবী পৃষ্ঠ হইতে h উচ্চতায় একটি বাড়ীর ছাদে রাখা হইল। বস্তুটি তাহার ওজন, অর্থাৎ mg বল সহ নীচের দিকে আসিতে চায়। ছাড়িয়া দিলে উহা ঐ বল mg-র প্রভাবে নীচের দিকে পৃথিবী পৃষ্ঠে আসিবে। যেহেতু উহা h-দূরত্ব, mg বলের প্রভাবে অতিক্রম করিয়াছে, সুতরাং উহা mgh পরিমাণ যান্ত্রিক কার্য করিয়াছে; আর পৃথিবী পৃষ্ঠের আপেক্ষিকে h উচ্চতায় থাকার জন্য এই পরিমাণ কার্য করিবার সামর্থ্য উহা অর্জন করিয়াছিল। অর্থাৎ উহার এই পরিমাণ স্থিতি শক্তি ছিল। সুতরাং স্থিতি শক্তির সংজ্ঞা এইরূপ দেওয়া যায়—

পৃথিবী পৃষ্ঠের বা কোনও স্বাভাবিক অবস্থানের আপেক্ষিকে অন্য কোনও অবস্থানে থাকিবার জন্য কোন বস্তু যে পরিমাণ যান্ত্রিক কার্য করিবার সামর্থ্য অর্জন করে তাহাই ঐ বস্তুর স্থিতি শক্তি (পৃথিবী পৃষ্ঠ বা ঐ স্বাভাবিক অবস্থানের আপেক্ষিক)।

একটি স্প্রিং (টানটানভাবে প্রসারিত বা চাপ দিয়া ছোট করা), প্রসারিত গুল্‌তি, ভিত্তিদ ঢোকানর উদ্যত পাথর (pile driver) ইত্যাদি, সকলের স্থিতি শক্তি আছে। এই স্থিতি শক্তিকে কাজে লাগান হয়।

গতি শক্তি (Kinetic Energy) ঃ ধর, একটি বস্তু (ভর m) একটি মসৃণ পথে সম গতিবেগ v সহ চলিতেছে। সুতরাং উহার পক্ষে বা বিরুদ্ধে কোন বল নাই, চলিবার কালে উহা কোন কার্য করিতেছে না। কিন্তু যদি উহার **বিরুদ্ধে** একটি বল P প্রয়োগ করা হয় তবে বস্তুর বেগ কমিতে থাকিবে, এবং অবশেষে কিছুদূর (ধর, S) গিয়া স্থির হইবে [চিত্র নং 85]। বস্তুটি এই দূরত্ব S একটি বলের বিরুদ্ধে অতিক্রম করিবে এবং ঐ বলের বিরুদ্ধে কার্য করিবে। যখন উহা স্থির হইবে, $v=0$, তখন আর কার্য করিবে না। যে পরিমাণ কার্য করিয়া সে স্থির হইবে, প্রাথমিক অবস্থায় (v-বেগ সহ গতিশীল অবস্থায়) সেই পরিমাণ কার্য করিবার সামর্থ্য তাহার নিশ্চয়ই ছিল। সুতরাং v-বেগে গতিশীল অবস্থার জন্য ঐ পরিমাণ শক্তি সেই বস্তু অর্জন করে। এই শক্তি হইতেছে **গতি শক্তি**। ইহার সংজ্ঞা এইরূপ দেওয়া যায়—



চিত্র নং 85

কোন বস্তু তাহার গতির জন্য যে যান্ত্রিক শক্তি অর্জন করে তাহাকে ঐ বস্তুর গতি শক্তি বলে, এবং কোন বল ঐ বস্তুর গতির বিরুদ্ধে প্রযুক্ত হইলে মন্দীভুত হয় এবং ঐ পরিমাণ কার্য করিয়া থামিয়া যায়।

6·5. শক্তির পরিমাণ নির্ধারণ—

(ক) **স্থিতি শক্তি ঃ** এখানে আমরা কেবল অভিকর্ষজ স্থিতি শক্তি আলোচনা করিব। তোমরা জান, কোন বস্তুকে, (ভর m_1 অভিকর্ষজ ত্বরণ g) পৃথিবী আকর্ষণ করে mg বল দ্বারা। ঐ বস্তুকে h-উচ্চতা তুলিতে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হইবে mgh। যে উহাকে তুলিবে তাহাকে এই পরিমাণ শক্তি খরচ করিতে হইবে এবং এই শক্তি বস্তুর মধ্যে জমা হইয়া থাকিবে। এই উত্তোলনের ফলে বস্তুর স্থিতি শক্তি অবস্থানের পরিবর্তনের জন্য mgh পরিমাণ বৃদ্ধি পাইবে এবং পুরাতন অবস্থানকে স্বাভাবিক ধরিলে ইহাই হইবে বস্তুর মোট **স্থিতি শক্তি**। আসলে স্থিতি শক্তি সব সময়েই একটি প্রাথমিক অবস্থানের সাপেক্ষে। উত্তোলনের পর ছাড়িয়া দিলে বস্তু আবার আগেকার অবস্থানে ফিরিয়া আসিবে এবং আসিবার সময় ঐ পরিমাণ কার্য করিবে ; অর্থাৎ উত্তোলনের সময় যে শক্তি উহাতে জমা হইয়াছিল নামিবার সময় তাহাই খরচ হইয়া যাইবে।

(খ) **গতি শক্তি ঃ** যদি সমবেগ v সহ এক বস্তু (ভর m) চলিতে থাকাকালে একটি বল P উহার বিরুদ্ধে প্রযুক্ত হয়, তবে মন্দন হয় এবং কিছুদূর (ধর, S)

আসিয়া বস্তুটি থামিয়া যায়। বল প্রযুক্ত হওয়ায় একটি ত্বরণ সৃষ্ট হইবে, ধর, f; বিপরীতমুখী হওয়ায় ইহা হইবে $-f$। দ্বিতীয় পরিচ্ছেদে তোমরা পড়িয়াছ (ত্বরিত গতির তৃতীয় সমীকরণ অনুযায়ী),

$$v^2=u^2+2fs\ ;$$

এক্ষেত্রে অন্তিম বেগ, $v=0$, এবং প্রাথমিক বেগ $u=v$;

$$\therefore\quad 0=v^2-2fs \qquad \text{বা,}\quad f=\frac{v^2}{2fs}.$$

স্থির হইবার পূর্বে বস্তুর দ্বারা কৃত কার্য $=\text{P.S}=mf.s=m.\frac{v^2}{2s}\,\text{S}=\frac{1}{2}mv^2$;

$\therefore$ প্রাথমিক অবস্থায় বস্তুর গতি শক্তি $=\frac{1}{2}mv^2$.

ধর, একটি বস্তু (ভর m) u বেগসহ চলিতেছে। একটি বল P উহার উপর গতির দিকে প্রযুক্ত হইল এবং S দূরত্ব অতিক্রম করিয়া উহার বেগ হইল, ধর v। ত্বরিত গতির সমীকরণ অনুযায়ী,

$$v^2=u^2+2fs$$ [যদি P বল m ভরের উপর f ত্বরণ উৎপন্ন করে]

$$\text{বা,}\quad Sf=\frac{v^2-u^2}{2f}$$

আবার, বস্তুটি P বলের প্রভাবে S দূরত্ব অতিক্রম করিয়াছে।

সুতরাং P বল দ্বারা কৃত কার্য $=\text{P.S}=mf.\text{S}=mf.\frac{v^2-u^2}{2f}=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mu^2$

= অন্তিম গতি শক্তি − প্রাথমিক গতি শক্তি,

অর্থাৎ একটি বস্তুর উপর কোন বল দ্বারা কৃত কার্য ঐ বস্তুর গতি শক্তির পরিবর্তনের সমান।

ঘূর্ণন শক্তি (Rotational Energy) : যদি কোনও বস্তুর ঘূর্ণন গতি থাকে তাহা হইলে বস্তুর বিভিন্ন ভর বিন্দু অক্ষের চারিদিকে একই কৌণিক বেগে ঘুরিবে। কিন্তু তাহাদের রৈখিক বেগ ভিন্ন ভিন্ন হইবে। আবার এই রৈখিক বেগও প্রতি মুহূর্তে দিক্ পাল্টাইবে। দিক্ পাল্টাইলে গতি শক্তি পাল্টায় না। গতি শক্তি বেগের মানের উপর নির্ভর করে, দিকের উপর নহে। গতি শক্তি ও স্থিতি শক্তি স্কেলার রাশি। সুতরাং এই গতির ফলে বিভিন্ন ভর বিন্দুর বিভিন্ন গতি শক্তি হইবে এবং তাহাদের মিলিত পরিমাণ হইবে সমগ্র বস্তুর গতি শক্তি।

ধর, বস্তুটির ভর বিন্দুগুলি $m_1, m_2, \cdots\cdots m_n$, অক্ষ হইতে তাহাদের দূরত্ব $r_1, r_2, \cdots\cdots r_n$, এবং কৌণিক গতি ω। তাহা হইলে উহাদের রৈখিক বেগ $\omega r_1, \omega r_2, \cdots\cdots \omega r_n$। তাহা হইলে, সমগ্র বস্তুর গতি শক্তি,

$$=\frac{1}{2}[m_1(\omega r_1)^2+m_2(\omega r_2)^2+\cdots\cdots+m_n(\omega r_n)^2]=\frac{1}{2}\omega^2\sum_1^n mr^2$$

$$=\frac{1}{2}\,\mathrm{I}\,\omega^2 \quad [\,\mathrm{I}=\sum mr^2 = \text{বস্তুটির ঐ অক্ষের সাপেক্ষে জাড্য ভ্রামক}\,]$$

ঘূর্ণনের ফলেও স্থিতি শক্তির উদ্ভব হইতে পারে। হাত ঘড়ির ডালা খুলিলে দেখিবে ঘড়িটি চালাইতেছে একটি ছোট চাকা, ব্যালেন্স চাকা (Balance wheel)। দেখিবে উহা স্বাভাবিক অবস্থান হইতে কিছুটা ঘুরিয়া একদিকে আসে, আবার উল্টা দিকে স্বাভাবিক অবস্থান ছাড়াইয়া যায় আবার ফিরিয়া আসে ইত্যাদি। স্বাভাবিক অবস্থান ছাড়াইয়া একদিকে গেলেই তাহার স্থিতি শক্তি বাড়িতে থাকে এবং যখন থামে তখন গতি শক্তি নাই ; স্থিতি শক্তি সর্বাধিক।

6·6. শক্তি সংরক্ষণ তত্ত্ব (Principle of Conservation of Energy): দেখা যায়, যে কোনও ভৌতিক (Physical) বা রাসায়নিক (Chemical) প্রক্রিয়াতে কোন কোন রূপের শক্তির হ্রাস বা বৃদ্ধি পায় এবং সেই সঙ্গেই আর এক রূপের শক্তির বৃদ্ধি বা হ্রাস ঘটে এবং মোট শক্তির পরিমাণ অপরিবর্তিত থাকে। ইহাকেই বলে **শক্তি সংরক্ষণ তত্ত্ব**। এই তত্ত্ব সর্বজন স্বীকৃত। ইহার উপরেই গোটা পদার্থ বিজ্ঞানের স্থাপনা। আপাততঃ আমরা শক্তি বলিতে কেবল যান্ত্রিক শক্তিই বুঝিব (স্থিতি ও গতি শক্তি)। সমস্ত রূপের শক্তির হ্রাসবৃদ্ধি হিসাব করিয়া এই তত্ত্বের প্রমাণ দেওয়া সাধ্যাতীত। কিন্তু কেবল যান্ত্রিক শক্তির মধ্যে হিসাব সীমাবদ্ধ রাখিলে (অর্থাৎ যান্ত্রিক শক্তি অন্য কোনরূপ শক্তিতে রূপান্তরিত না হয় সে ব্যবস্থা করিতে পারিলে) এই তত্ত্বের প্রমাণ করা যায়।

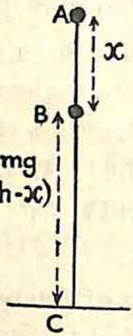
তত্ত্বটি এই—এক বা একাধিক বস্তুসমষ্টির মোট শক্তি যে কোনও প্রক্রিয়াতে অপরিবর্তিত থাকিবে। তাহাদের পারস্পরিক ক্রিয়া বা সংঘর্ষে উহার কোন অংশই নষ্ট হইবে না, নূতন কোন অংশ সৃষ্টি হইবে না, কিন্তু কোন অংশ একরূপ হইতে পরিবর্তিত হইয়া অন্য রূপ ধারণ করিতে পারে।

প্রমাণ—ধর একটি বস্তু (ভর m) পৃথিবী পৃষ্ঠ C হইতে h উচ্চতার A-তে তোলা হইল। ফলে C-র সাপেক্ষে বস্তুর স্থিতি শক্তি mgh। কোন গতি না থাকায় গতি শক্তি শূন্য, এবং মোট যান্ত্রিক শক্তি mgh। এইবার বস্তুটিকে A হইতে ছাড়িয়া দেওয়া হইল। যখন উহা x দূরত্ব পড়িয়া B-তে আসিয়াছে, তখন উহার স্থিতি শক্তি $mg\times(\mathrm{BC})=mg\,(hx)$। তখন যদি উহার বেগ হয় v, তবে $v^2=0^2+2gx$। সুতরাং উহার গতি শক্তি $=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m\times 2gx=mgx$;

$\therefore$ মোট যান্ত্রিক শক্তি $=mg(h-x)+mgx=mgh$।

তাহার পর, বস্তুটি যখন C-তে নামিল, তখন উহার বেগ v ; আর, $v^2=0^2+2gh$;

∴ C-তে বস্তুটির গতি শক্তি $=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m\times 2gh=mgh$। আর স্থিতি শক্তি $=0$;



চিত্র নং 86

∴ মোট যান্ত্রিক শক্তি $=mgh$।

দেখা যাইতেছে, A হইতে C-তে পতনের ফলে বস্তুটির যান্ত্রিক শক্তি, A-তে পুরাপুরি স্থিতি শক্তি (C-র সাপেক্ষে), B-তে আংশিক স্থিতি শক্তি, আংশিক গতি শক্তি, আর C-তে পুরাপুরি গতি শক্তি। কিন্তু মোট যান্ত্রিক শক্তি অপরিবর্তিত, অর্থাৎ mgh। ইহা হইতে শক্তি সংরক্ষণ তত্ত্ব প্রমাণিত হয়। অবশ্য আমরা এখানে শক্তি বলিতে কেবল যান্ত্রিক শক্তি বুঝাইতেছি। C-তে ভূমির সহিত ধাক্কা লাগিয়া বস্তুটি থামিয়া যায়। ফলে উহা গতি শক্তি শূন্য হয়। কিন্তু মনে রাখিতে হইবে ধাক্কার ফলে মাটিতে তাপ উৎপন্ন হয়, শব্দ উৎপন্ন হয়, মাটি কিছুটা হয়ত বসিয়া যায় বা চটিয়া যায়। অর্থাৎ ঐ গতি শক্তি সমস্তটাই নানারূপে রূপান্তরিত হইয়া যায়। কিন্তু কোন শক্তিই কোনভাবে ধ্বংসপ্রাপ্ত হয় না।

উদাহরণ ঃ একটি দোলকের ভারকেন্দ্র উহার সহন অক্ষ (axis of support) হইতে এক মিটার নীচে। দোলককে একদিকে 30° ঘুরাইয়া ছাড়িয়া দেওয়া হইল। এইবার উহার স্বাভাবিক অবস্থান অতিক্রম করিবার সময় উহার কত দ্রুতি হইবে বাহির কর।

30° ঘুরাইলে ভারকেন্দ্র উপরে উঠিবে $(1-1.\ \cos 30°)$ মিটার $=1-\frac{\sqrt{3}}{2}$ $=1-0{\cdot}866=0{\cdot}134$ মিটার $=13{\cdot}4$ সে. মি.।

যদি g-র মান ধরা হয় 980 সে. মি./সেকেণ্ড², তবে ঘুরান অবস্থায় উহার স্থিতি শক্তি (স্বাভাবিক অবস্থানের সাপেক্ষে) $=m\times 980\times 13{\cdot}4$ সি.জি.এস চরম।

যদি স্বাভাবিক অবস্থানে দোলকের দ্রুতি হয় v সে. মি./সেকেণ্ড। তবে উহার গতি শক্তি $=\frac{1}{2}m\times v^2$

শক্তি সংরক্ষণ তত্ত্ব অনুসারে, $\frac{1}{2}mv=m\times 980\times 1{\cdot}34$

বা, $v=\sqrt{2\times 980\times 13{\cdot}4}=162$ সে. মি./সেকেণ্ড।

শক্তির একক ঃ যখন কার্য করিবার সামর্থ্যই শক্তি, তখন কার্যের এককই শক্তির একক। উহার পৃথক কোনও একক নাই।

6·7. ক্ষমতা (Power) ঃ কোন যন্ত্র বা এঞ্জিন শক্তির উৎস। উহা শক্তি খরচ করিয়া কার্য করিতে পারে। একক সময়ে উহা যে পরিমাণ কার্য করিতে পারে তাহাই উহার **ক্ষমতা**। সি. জি. এস পদ্ধতিতে ইহার একক হইল এমন একটি ক্ষমতা যাহার দ্বারা উহা প্রতি সেকেণ্ডে 1 আর্গ কার্য করিতে পারে। এই এককের নাম এক আর্গ প্রতি সেকেণ্ড। সি. জি এস অভিকর্ষজ একক হইল এক গ্রাম সে. মি/সেকেণ্ড। এফ. পি. এস পদ্ধতিতে ক্ষমতার একক এক ফুট-পাউণ্ডাল/সেকেণ্ড

(চরম একক) ও এক ফুট-পাউণ্ড/সেকেণ্ড (অভিকর্ষজ একক)। সাধারণতঃ এই এককগুলি অতি ক্ষুদ্র। সেজন্য ব্যবহারিক প্রয়োজনে ব্যবহারিক একক প্রচলিত। ব্যবহারিক একক দুইটি। একটি হইল, **অশ্ব-শক্তি** (Horse-Power)। ইহার পরিমাণ হইল 33,000 ফুট-পাউণ্ড/মিনিট বা 550 ফুট-পাউণ্ড/সেকেণ্ড। ইহার অর্থ, এমন একটি ক্ষমতা যদ্বারা প্রতি সেকেণ্ডে 550 পাউণ্ড ভরের বোঝা 1 ফুট উচ্চতায় তোলা যায় বা 1 পাউণ্ড ভরের বোঝা প্রতি সেকেণ্ডে 550 ফুট উচ্চতায় তোলা যায়। ক্ষমতার আর একটি ব্যবহারিক একক প্রচলিত আছে, উহার নাম **ওয়াট** (Watt); উহার মান 1 জুল/সেকেণ্ড বা 10^7 আর্গ/সেকেণ্ড। আর একটি বড় এককও প্রচলিত আছে—**কিলোওয়াট** বা 1000 ওয়াট।

ক্ষমতার বিভিন্ন এককের পারস্পরিক সম্বন্ধ—

1 অশ্ব-শক্তি (H. P) = 550 ফুট-পাউণ্ড/সেকেণ্ড

$= 550 \times 1{\cdot}36 \times 10^7$ আর্গ/সেকেণ্ড [সমীকরণ 6·2·1 দ্রষ্টব্য]

$= 746$ জুল/সেকেণ্ড $= 746$ ওয়াট … 6·7·1

$\therefore$ 1 কিলোওয়াট = 1000 ওয়াট

$= 1000 \div 746 = 1{\cdot}34$ অশ্ব-শক্তি … 6·7·2

$= 1{\cdot}34 \times 550$ ফুট-পাউণ্ড/সেকেণ্ড।

এ পর্যন্ত তোমরা শক্তির একক হইতে ক্ষমতার একক নির্ধারণ দেখিয়াছ। আবার ক্ষমতার একক হইতেও শক্তির একক স্থির করা যায়। যদি এক কিলোওয়াট ক্ষমতার এঞ্জিন একঘণ্টা ধরিয়া কার্য করে তাহা হইলে যে পরিমাণ শক্তি খরচ হয় তাহাকে শক্তির বা কার্যের একটি বৃহৎ একক হিসাবে গণ্য করা যায়। ইহার নাম **কিলোওয়াট-ঘণ্টা** (Killowatt-Hour বা K. W. H)।

$\therefore$ 1 কিলোওয়াট-ঘণ্টা = 1 কিলোওয়াট × 1 ঘণ্টা

$= (1{\cdot}34 \times 550 \times 60 \times 60)$ ফুট-পাউণ্ড শক্তি বা কার্য

$= 26{,}53{,}200$ ফুট-পাউণ্ড শক্তি বা কার্য।

উদাহরণ ঃ

1. একটি এঞ্জিনের সাহায্যে প্রতি ঘণ্টায় 22,000 গ্যালন জল 100 ফুট উচ্চতায় তুলিতে হইবে। এঞ্জিনের ক্ষমতা কত অশ্ব-শক্তি হওয়া প্রয়োজন? [1 গ্যালন জলের ভর 10 পাউণ্ড]

22,000 গ্যালন জলের ভর $= 22{,}000 \times 10 = 22 \times 10^4$ পাউণ্ড;

$\therefore$ এক ঘণ্টায় কৃত কার্য $= 22 \times 10^4 \times 100 = 22 \times 10^6$ ফুট-পাউণ্ড (অভিকর্ষজ এককে);

$\therefore$ এক সেকেণ্ডে কৃত কার্য $= \dfrac{22 \times 10^6}{60 \times 60}$ ফুট-পাউণ্ড;

$\therefore$ এঞ্জিনের প্রয়োজনীয় ক্ষমতা $= \dfrac{22 \times 10^6}{36 \times 10^2 \times 550} = 11{\cdot}1$ অশ্ব-শক্তি।

2. 3 কিলোমিটার দূরত্ব অতিক্রম করিতে একটি ট্রেনের বেগ 30 কি. মি./ঘণ্টা হইতে বাড়িয়া 60 কি. মি /ঘণ্টা হয়। যদি ঘর্ষণজনিত বল হয় প্রতি মেট্রিক টনে 15 কি. গ্রা., এবং ট্রেনের ভর 200 মেট্রিক টন, তাহা হইলে এঞ্জিন দ্বারা কৃত কার্য কত হইবে হিসাব কর, এবং এঞ্জিন কি ক্ষমতায় কার্য করিতেছে বাহির কর।

ঘর্ষণ বল $=15\times200$ কি. গ্রা. ভার

$=3000\times1000$ গ্রাম ভার

$=3\times98\times10^7$ ডাইন।

এই বল 3 কি. মি. দূরত্বে কার্য করে ;

$\therefore$ ঘর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কৃত কার্য $=3\times98\times10^7\times3000\times100$ আর্গ

$=882\times10^5$ জুল।

ইহার উপর আছে ত্বরণের জন্য কৃত কার্য। ইহার পরিমাণ হইবে গতি শক্তির

$$\text{বৃদ্ধি}=\tfrac{1}{2}\times200\times10^6\left[\left(\frac{60\times1000\times100}{60\times60}\right)^2-\left(\frac{30\times1000\times100}{60\times60}\right)^2\right]$$

$$=10^8\left[\frac{6250000}{3}\right]=208\times10^{12}\text{ আর্গ}=208\times10^5\text{ জুল};$$

$\therefore$ মোট কৃত কার্য $=1090\times10^5$ জুল।

প্রশ্নমালা

1. কার্য, শক্তি ও ক্ষমতার সংজ্ঞা লেখ। ইহাদের এককগুলি কি? কয়েকটি উদাহরণের সাহায্যে এই রাশিগুলির বর্ণনা দাও।

2. জুল এবং কিলোওয়াট্ কাহাকে বলে? ইহাদের মধ্যে সম্বন্ধ স্থাপিত কর।

3. একটি মানুষ, যাহার নিজস্ব ওজন 130 পাউণ্ড-ভার, একটি 80 পাউণ্ড ওজন মাথায় করিয়া একটি 30 ফুট উচ্চতাবিশিষ্ট বাড়ীর নীচতলা হইতে ছাতে 1 মিনিটে উঠিয়া আসিল। সে কতটা কার্য করিল? তাহার সামর্থ্য অশ্ব-শক্তিতে প্রকাশ কর।

[উত্তর : 6300 ফুট-পাউণ্ড। 0·19 অশ্ব-শক্তি।]

4. একটি 500 কিলোগ্রাম ভরবিশিষ্ট বস্তুকে অভিকর্ষজ বলের বিরুদ্ধে 50 মিটার উপরে তোলা হইল। যদি অভিকর্ষজ ত্বরণ 980 সেন্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ড² হয় তবে বস্তুটির উপর কতটা কার্য করা হইল?

[উত্তর : 245×10^{10} আর্গ।]

5. স্থিতি শক্তি ও গতি শক্তি কাহাকে বলে। কয়েকটি উদাহরণ দাও।

6. একটি m ভরবিশিষ্ট বস্তু v গতিবেগে চলিতেছে। উহার গতি শক্তি কত?

7. শক্তির অবিনাশিতা তত্ত্ব কি? একটি বস্তু অভিকর্ষজ বলের দরুন নিম্নদিকে পড়িতেছে। প্রমাণ কর যে এক্ষেত্রে তাহার শক্তি অবিনশ্বর।

8. একটি সরল দোলক দুলিতেছে। প্রমাণ কর যে দোলনের প্রতিবিন্দুতে শক্তির অবিনাশিতা প্রযোজ্য হইতেছে।

সপ্তম পরিচ্ছেদ

মহাকর্ষ (Gravitation)

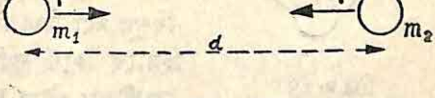
7·1. **মহাকর্ষ ঃ** একটি বস্তুকে উচ্চস্থান হইতে শূন্যে ছাড়িয়া দিলে উহা ক্রমবর্ধমান বেগের সহিত (বা ত্বরণের সহিত) খাড়াভাবে পৃথিবীর উপর পড়ে। যেহেতু ত্বরণের সহিত পড়ে; সুতরাং কোন বল নিশ্চয়ই প্রযুক্ত হইয়াছে। কিন্তু কেহই উহাকে কোন সুতা দিয়া টানে নাই, বা তাহাকে উপর হইতে ধাক্কা দেয় নাই। সুতরাং বলপ্রয়োগকারী দূর হইতে কোন সংযোগসূত্র ছাড়াই বলপ্রয়োগ করিয়াছে। আর বস্তুটিও সব জায়গায় পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকে ধাবমান। সুতরাং নিশ্চয়ই, পৃথিবী বস্তুর উপর এই বল প্রয়োগ করিয়াছে। এইরূপ বলকে বলা হয় **আকর্ষণ**। আকর্ষক পৃথিবী। আর এই আকর্ষণ করিবার সামর্থ্য কেবল যে পৃথিবীরই আছে তাহা নহে। বহু পরীক্ষা-নিরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে, প্রত্যেক বস্তুই অপর প্রত্যেক বস্তুকে আকর্ষণ করে। এই আকর্ষণ সম্বন্ধে পরীক্ষা করিয়া নিউটন একটি সূত্র লিপিবদ্ধ করেন। সূত্রটি এইরূপ—

যে কোন বস্তু অপর যে কোন বস্তুকে তাহাদের সংযোগকারী সরল-রেখা বরাবর আকর্ষণ করে এবং এই আকর্ষণ বলের মান তাহাদের ভরদ্বয়ের গুণফলের সহিত সমানুপাতিক ও তাহাদের মধ্যকার দূরত্বের বর্গফলের সহিত ব্যস্তানুপাতিক (inversely proportional) হয়।

ধর, দুইটি বস্তু (ভর m_1, m_2, দূরত্ব d) [চিত্র নং 87] পরস্পরকে F বল সহ আকর্ষণ করিতেছে। নিউটনের মহাকর্ষসূত্র অনুসারে, $F \propto m_1 m_2$ (d ধ্রুবক)

$$\propto \frac{1}{d^2} \;(\, m_1,\ m_2 \text{ ধ্রুবক })$$

$$F = G.\frac{m_1\, m_2}{d^2} \quad \cdots (7\cdot1\cdot1)$$



চিত্র নং 87

এখানে G একটি ধ্রুবক। যেখানে যেমনই দুইটি ভর হউক না কেন, G-র মান একই থাকিবে। সেজন্য উহাকে বলে **মহাকর্ষের বিশ্বধ্রুবক** (Universal Gravitation Constant)। দেখা যাইতেছে, যদি $m_1 = m_2 = 1$, $d = 1$ হয় তবে F = G ; অর্থাৎ দুইটি একক ভর একক দূরত্বের ব্যবধানে রাখিলে তাহাদের মধ্যে যে আকর্ষণ হয় তাহার মানের সমান G-র মান। সি.জি. এস পদ্ধতিতে $G = 6{\cdot}67 \times 10^{-8}$ সে. মি.^{3}/সেকেণ্ড-গ্রাম^2।

যে কোন বস্তু অন্য যে কোন বস্তুকে আকর্ষণ করে। এই জাতীয় আকর্ষণকে বলে **মহাকর্ষ**। আর, ইহারই একটি সীমিত অংশ, অর্থাৎ পৃথিবীর দ্বারা আকর্ষণকে বলে **অভিকর্ষ** (gravity)।

7·2. **মহাকর্ষ ধ্রুবক**: উপরের অনুচ্ছেদে G বা মহাকর্ষ ধ্রুবক সম্বন্ধে পড়িয়াছ। এই ধ্রুবক অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। এই ধ্রুবকের মান সত্যই অপরিবর্তনীয়। বহু কোটি মাইল দূরত্বে দুই গ্রহ বা নক্ষত্রের মধ্যেকার আকর্ষণে, বা অতি ক্ষুদ্র দূরত্বে দুই অণুর মধ্যেকার আকর্ষণে, G-র মান একই। সেইজন্য বিজ্ঞানী ক্যাভেণ্ডিস (Cavendish) প্রথম উহার মান বাহির করেন। সেই পদ্ধতিতে কিছু ত্রুটি বিবেচনা করিয়া বিজ্ঞানী বয়েজ (Boys) উহার কিছু পরিবর্তন করেন। তাহার পর একে একে পয়েন্টিং (Poynting), হাইল (Heyl) প্রভৃতি বিজ্ঞানী উন্নত ও সূক্ষ্ম যন্ত্রপাতি এবং কৌশলের সাহায্যে আরও সূক্ষ্মভাবে G-র মান বাহির করেন। এখন G-র মান যাহা সর্বজনগ্রাহ্য, তাহা হইল, $(6{\cdot}674 \pm 0{\cdot}004) \times 10^{-8}$ সে. মি.^{3}/সেকেণ্ড-গ্রাম^2।

7·3, **বিস্তৃত বস্তুর দ্বারা মহাকর্ষীয় আকর্ষণ (Gravitation Attraction by extended bodies)**: উপরে §7· অনুচ্ছেদে নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রে সম্বন্ধে তোমরা পড়িয়াছ। দুই ক্ষুদ্র বস্তুর মধ্যে আকর্ষণের দিক্ হইল উহাদের সংযোগকারী সরলরেখা বরাবর। ইহা স্বভাবতঃই দুই বিন্দুবৎ বস্তুর বেলায়ই প্রযোজ্য। কিন্তু একটি বস্তু যদি বিস্তৃত হয় তবে সমস্যা কিছুটা জটিল হয়।

চিত্র নং 88 তে একটি বিস্তৃত বস্তু রহিয়াছে। P-বিন্দুতে একটি বিন্দুবৎ ভর রাখিলে উহাকে প্রথম বস্তুর বিভিন্ন ভরবিন্দু চিত্রে প্রদর্শিত বিভিন্ন ফুটকি চিহ্নিত (dotted) সরলরেখা বরাবর দিকে আকর্ষণ করিবে। P-বিন্দুতে এই সকল আকর্ষণ বলের একটি লব্ধি থাকিবে। উহা চিত্রের অবিচ্ছেদ্য continuous) সরলরেখা বরাবর প্রযুক্ত হইবে। দুইটি তীর চিহ্ন দ্বারা উহা চিহ্নিত হইয়াছে। উহা বস্তুর যে বিন্দুর মধ্য দিয়া গিয়াছে সেই বিন্দুই বিস্তৃত বস্তুটির কেন্দ্র হিসাবে কার্য করিবে, যেন বস্তুর সমস্ত ভর ঐ বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হইয়া P-বিন্দুকে আকর্ষণ করিতেছে।



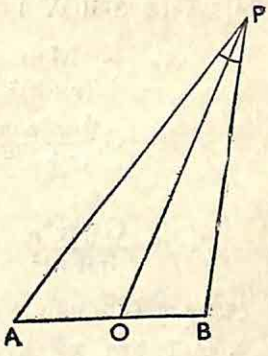
চিত্র নং 88

কিন্তু অঙ্ক কষিয়া বা জ্যামিতির সাহায্য লইয়া এই বিন্দুর অবস্থিতি বাহির করা দুঃসাধ্য, যদি বস্তুটির কোন জ্যামিতিক প্রতিসাম্য না থাকে। আবার P-বিন্দু ছাড়িয়া আর এক বিন্দু লইলে এই কেন্দ্র বিন্দুও বদলাইবে।

P-বিন্দুতে যদি একক ভর রাখা হয় তাহা হইলে ঐ বিস্তৃত বস্তুর জন্য উহার উপরে যে মহাকর্ষ বল প্রযুক্ত হইবে তাহাকে ঐ বিস্তৃত বস্তুর জন্য P-বিন্দুতে **মহাকর্ষ তীব্রতা** (Gravitational intensity) বলে। ইহা নূতন কিছু নহে, মহাকর্ষ বলই। এই তীব্রতা দ্বারা আমরা P-বিন্দুতে যে আকর্ষণ বল কার্য করিবে তাহার পরিমাণ প্রকাশ করিতে পারি।

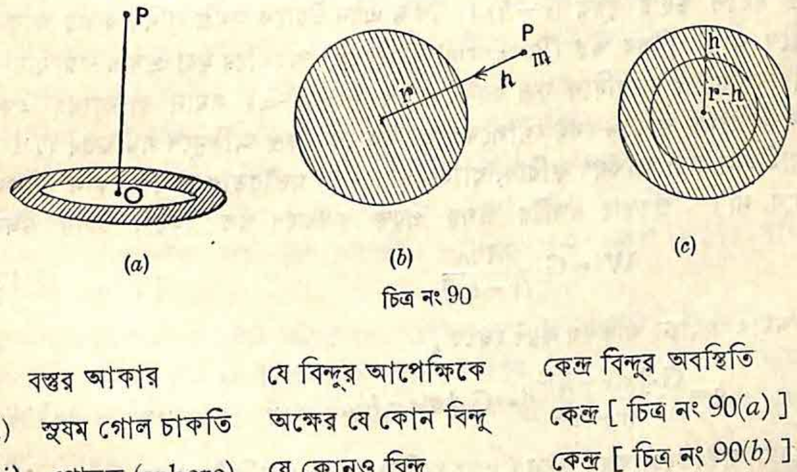
সরু দণ্ডের জন্য তীব্রতা ঃ উপরে পড়িয়াছ, জ্যামিতিক প্রতিসাম্য না থাকিলে কোন বিস্তৃত বস্তুর কেন্দ্র সোজাসুজি বাহির করা যায় না। কেবল একটি সরু দণ্ডের কেন্দ্র বিন্দু সহজে বাহির করা যায়। চিত্র নং 89-এ AB একটি সরু দণ্ড। ধর, P বিন্দুতে আকর্ষণ করিতে AB-র কেন্দ্র বিন্দু বাহির করিতে হইবে।

প্রথমে AP ও BP যোগ কর। তাহার পর ∠APB-কে সমদ্বিখণ্ডিত (bisect) কর। এইবার সমদ্বিখণ্ডক PO-কে বাড়াইয়া দাও। ধর, উহা AB-কে O বিন্দুতে ছেদ করিল। তাহা হইলে O হইবে AB-র কেন্দ্র বিন্দু (অবশ্য কেবল P বিন্দুর জন্যই)।



চিত্র নং 89

যদি বস্তুর জ্যামিতিক প্রতিসাম্য থাকে, তবে উহার কেন্দ্র বিন্দু সহজে বাহির করা যায়। যেমন,



চিত্র নং 90

বস্তুর আকার	যে বিন্দুর আপেক্ষিকে	কেন্দ্র বিন্দুর অবস্থিতি
(i) সুষম গোল চাকতি	অক্ষের যে কোন বিন্দু	কেন্দ্র [চিত্র নং 90(*a*)]
(ii) গোলক (sphere)	যে কোনও বিন্দু	কেন্দ্র [চিত্র নং 90(*b*)]

7·4 পৃথিবীর মহাকর্ষ আকর্ষণ (Gravitational Attraction of the Earth) ঃ তোমরা জান, পৃথিবী গোলাকার, তবে উত্তর-দক্ষিণে সামান্য চাপা। মোটামুটি উহাকে গোলক হিসাবে ধরা যায়। উপরে § 7·3 অনুচ্ছেদে পড়িয়াছ, যে কোন বিন্দুতে একটি ভর রাখিলে তাহাকে গোলকটি আকর্ষণ করে যেন গোলকের সমস্ত ভর গোলকের কেন্দ্রে জমা করা হইয়াছে। এইবার চিত্র নং 90(*b*) লক্ষ্য কর। ধর, গোলকটি পৃথিবী, **পৃথিবী পৃষ্ঠ অপেক্ষা বেশী দূরত্বে** P বিন্দুতে একটি ক্ষুদ্র ভর m রাখা হইয়াছে। ধর, পৃথিবীর ভর M, ব্যাসার্ধ r, পৃথিবী পৃষ্ঠ হইতে

P-র উচ্চতা h। সুতরাং সমীকরণ (7·1·1) অনুযায়ী, m ভরের উপর আকর্ষণ বল (অর্থাৎ উহার ওজন W) হইবে,

$$W = G.\frac{M.m}{(r+h)^2}$$

$$= G.\frac{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho.m}{(r+h)^2}$$ [যদি পৃথিবীর গড় ঘনত্ব হয় ρ, এবং যদি ধরা যায় পৃথিবীর ঘনত্ব সর্বত্র সমান]

$$= mg\ ;$$ [নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র হইতে, আর যদি অভিকর্ষ ত্বরণ হয় g]

$$\therefore\ g = \frac{G.\frac{4}{3}\pi r^3 \rho}{(r+h)^2} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7·4·1)$$

যেহেতু পৃথিবীর ঘনত্ব ও ব্যাসার্ধ সর্বত্র সমান। সুতরাং h যতই বাড়িবে, g-র মান বা অভিকর্ষ ত্বরণ তত কমিবে। P বিন্দু যদি পৃথিবী পৃষ্ঠের উপর স্থাপিত হয়, তবে

$$h = o,\ g = \frac{G.\frac{4}{3}\pi r^3 \rho}{r^2} = G.\frac{4}{3}\pi r\rho \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7·4·2)$$

পৃথিবীর ভিতরে বস্তু রাখিলে—এইবার চিত্র নং 90 (c) লক্ষ্য কর। ধর, h গভীরতার একটি সুড়ঙ্গ কাটিয়া m ভরের ক্ষুদ্র বস্তুকে নীচে লওয়া হইল। সুতরাং পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে উহার দূরত্ব $(r-h)$। কিন্তু এখন উহাকে সমগ্র পৃথিবীর ভর আকর্ষণ করিবে না। বিভব তত্ত্ব (Potential Theory) অনুসারে ইহা প্রমাণ করা যায় যে পৃথিবীর কেন্দ্রের চারিদিকে ক্ষুদ্র বস্তুটির দূরত্ব $(r-h)$-এর সমান ব্যাসার্ধের একটি গোলক রচনা করিলে সেই গোলকের ভর উহাকে কেন্দ্র অভিমুখে সমীকরণ (7·1·1) অনুযায়ী বল দ্বারা আকর্ষণ করিবে, বাহিরের $(r-h)$ গভীরতার ভূ-ত্বক কোন আকর্ষণ করিবে না। সুতরাং বস্তুটির উপর প্রযুক্ত আকর্ষণ বল হইবে, উহার ওজন,

$$W' = G\cdot\frac{M'm}{(r-h)^2} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7·4·3)$$

অর্থাৎ ঐখানে অভিকর্ষ ত্বরণ হইবে ,

$$g = \frac{G\cdot\frac{4}{3}\pi(r-h)^3\rho}{(r-h)^2} = G\cdot\frac{4}{3}\pi(r-h)\rho \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7·4·4)$$

দেখা যাইতেছে, বস্তুর ওজন (এবং অভিকর্ষ ত্বরণ) পৃথিবীর আপেক্ষিকে বিভিন্ন জায়গায় বিভিন্ন মানের হইবে। পৃথিবীর পৃষ্ঠে উহা সর্বাধিক। পৃথিবী পৃষ্ঠ হইতে যত উপরে যাওয়া যায় ততই উহা কম হয় ; যত ভিতরে যাওয়া যায় ততই উহা কম হয়। পৃথিবীর কেন্দ্রে লইয়া গেলে বস্তুর ওজন কিছু থাকিবে না ; অভিকর্ষ ত্বরণও কিছু থাকিবে না।

পৃথিবীর ব্যাসার্ধ মোটামুটি 4000 মাইল। পৃষ্ঠ হইতে আরও 4000 মাইল উপরে উঠিলে সমীকরণ (7·4·1) হইতে দেখা যায়, বস্তুর ওজন সাধারণ ওজনের এক-চতুর্থাংশ হইবে।

অন্যান্য কারণে ওজনের তারতম্য ঃ উপরের আলোচনায় ধরা হইয়াছে (i) পৃথিবী পরিপূর্ণ গোলাকার। এবং (ii) পৃথিবী স্থির। ইহার কোনটাই পুরাপুরি সত্য নহে।

(i) তোমরা জান, পৃথিবী ঠিক গোলাকার নয়। উত্তর-দক্ষিণে সামান্য চাপা। অর্থাৎ, উত্তর বা দক্ষিণ মেরু হইতে পৃথিবীর কেন্দ্র যতদূর, পৃথিবীর বিষুবরেখা হইতে তাহা অপেক্ষা সামান্য বেশী দূর। ফলে যে কোনও ভরকে মেরু অঞ্চলে পৃথিবী যে বলে আকর্ষণ করিবে, বিষুবরেখা অঞ্চলে তাহা অপেক্ষা সামান্য কম বলে আকর্ষণ করিবে। বিষুবরেখা অঞ্চলে g-র মান সর্বাপেক্ষা কম; অক্ষাংশ (Latitude) বাড়িবার সহিত এই মান অল্প অল্প বাড়ে, এবং মেরু অঞ্চলে সর্বাপেক্ষা অধিক। তোমরা পড়িয়াছ, g-র মান 981 সে. মি./সেকেণ্ড^2। ইহা লণ্ডনের নিকটবর্তী গ্রীণউইচ (Greenwich) শহরের অক্ষাংশের মান। কলিকাতায় উহার মান প্রায় 978 সে. মি./সেকেণ্ড^2।

(ii) তোমরা জান, পৃথিবী স্থির নয়। ইহা ঘুরিতেছে, দুইভাবে। এক, ইহা সূর্যের চারিদিকে $365\frac{1}{4}$ দিনে একবার; আর দুই, ইহা নিজের উত্তর-দক্ষিণ অক্ষের চারিদিকে প্রতিদিন 360° ঘুরিতেছে। প্রথমটিতে কৌণিক বেগ অত্যন্ত কম—আমরা নাও ধরিতে পারি। দ্বিতীয়টিতে কৌণিক বেগ যথেষ্ট বেশী। এই শেষোক্ত বেগের জন্য বস্তুটির উপর একটি অপকেন্দ্র বল (Centrifugal force) কার্য করিবে। পঞ্চম পরিচ্ছেদে অপকেন্দ্র বল সম্বন্ধে বিবরণে ইহা আলোচনা করা হইয়াছে। ব্যাসার্ধের দিক্ বরাবর এই অপকেন্দ্র বলের উপাংশ পৃথিবীর আকর্ষণ বল (বা বস্তুর ওজন) হইতে বিয়োগ করিলে বস্তুর পরিবর্তিত ওজন পাওয়া যাইবে। উপরোক্ত অনুচ্ছেদে দেখান হইয়াছে, এই ওজন হ্রাসের পরিমাণ $m\omega^2 \text{R} \cos^2\lambda$।

বিষুবরেখায় $\lambda=0$, এবং এই হ্রাসের পরিমাণ সর্বাধিক। আবার মেরুতে $\lambda=90°$, অর্থাৎ কোন হ্রাস নাই। সুতরাং এই কারণেও বস্তুর ওজন বিষুবরেখায় সর্বাপেক্ষা কম, এবং যে কোন মেরুর দিকে গেলে এই ওজন বাড়িতে থাকিবে এবং মেরুতে সর্বাধিক হইবে।

7·5. পতনশীল বস্তুর গতিসূত্রাবলী ঃ যখন কোন বস্তুকে স্থির অবস্থায় ছাড়িয়া দেওয়া হয়, তখন ইহা প্রাথমিক স্থির অবস্থা হইতে খাড়াভাবে অভিকর্ষ ত্বরণ সহ পড়িতে থাকে। যদি উচ্চতা বেশী না হয় (অর্থাৎ সমীকরণ 7·4·1-এ $h << r$ হয়), তবে ধরা যায় যে পড়িবার সময় অভিকর্ষ ত্বরণ একই থাকিবে। তাহা হইলে ঐ বস্তুর ঐ গতি নিম্নের তিনটি সাধারণ সূত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়, যথা—

(1) বায়ুশূন্য স্থানে, স্থির অবস্থা হইতে পতন হইলে সমস্ত বস্তু একই দ্রুতিতে পড়ে।

(2) কোন নির্দিষ্ট সময়ে যে কোন পতনশীল বস্তু যে বেগ অর্জন করে তাহা ঐ সময়ের সহিত সমানুপাতিক।

(3) কোন নির্দিষ্ট সময়ে যে কোন পতনশীল বস্তু যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাহা ঐ সময়ের বর্গের সহিত সমানুপাতিক।

দৈনন্দিন জীবনে আমরা যাহা দেখি, প্রথম সূত্রে মনে হয় তাহার বিপরীত। আমরা দেখি, একটি কাগজের টুকরা বা পালক এবং একটি পাথর একসঙ্গে বাড়ীর ছাদ হইতে ছাড়িয়া দিলে পাথরটি দ্রুত মাটিতে আসিয়া পড়ে, কাগজ বা পালক অনেক পরে মাটিতে পৌঁছায়। বিখ্যাত বিজ্ঞানী গ্যালিলিও মত প্রকাশ করেন যে বায়ুর মধ্য দিয়া পড়িবার সময় বায়ু এই পতনে বাধা দেয়। কাগজের ভরের তুলনায় বায়ুর সহিত সংশ্লিষ্ট পৃষ্ঠ (surface in contact with air) খুব বেশী। সেজন্য বায়ুর বাধা খুব বেশী। কাগজ সেজন্য অনেক দেরীতে মাটিতে পৌঁছায়। কিন্তু কোন পরীক্ষা (Experiment) দ্বারা তিনি ইহা প্রমাণ করিতে পারেন নাই। প্রায় একশত বৎসর পরে বায়ু-নিষ্কাশন পাম্প আবিষ্কার হইলে বিখ্যাত বিজ্ঞানী নিউটন পরীক্ষা করিয়া উপরোক্ত মত যে সঠিক তাহা দেখান। এই পরীক্ষাই বিখ্যাত **গিনি ও পালক পরীক্ষা**।



চিত্র নং 91

গিনি ও পালক পরীক্ষাঃ ধর, একটি এক মিটার লম্বা কাঁচের নল লওয়া হইল, উহার একদিকে একটি ধাতুর টুপি শক্ত করিয়া লাগান। অপরদিকে একটি ধাতুর কল আটকান। এই কল ঘুরাইয়া বন্ধ করা বা খোলা যায়। একটি গিনি মুদ্রা (guinea) ও একটি পালক, নলের প্রথমোক্ত মুখ খুলিয়া ভিতরে ফেলিয়া দিয়া মুখ ভালভাবে আটকাইয়া দেওয়া হয়। তাহার পর অপর মুখটি একটি বায়ু-নিষ্কাশন পাম্পের সহিত যোগ করা হয়। কলটি খুলিয়া পাম্প কিছুক্ষণ চালাইলে ভিতরের বায়ু বাহির হইয়া যায়। তাহার পর কলটি ঘুরাইয়া বন্ধ করা হয়। এইবার নলটি দুই হাতে ধরিয়া উল্টাইয়া দেওয়া হয়। দেখা যায়, গিনি ও পালক একসঙ্গে নীচের মুখের উপর পড়ে। এইবার কল ঘুরাইয়া বায়ু প্রবেশ করাইয়া যদি নলটি আবার উল্টান হয় তবে দেখা যায় গিনি আগে পড়ে। পালক বেশ কিছু পরে পড়ে। ইহা হইতে উপরোক্ত তিন সূত্রের প্রথম সূত্রের সত্যতা প্রমাণ হয়।

দ্বিতীয় ও তৃতীয় সূত্রও অন্যভাবে পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে। তৃতীয় সূত্র অনুযায়ী যদি কোন পতনশীল বস্তু 1 সেকেণ্ডে h সে. মি. পড়ে, তবে 2 সেকেণ্ডে পড়িবে $4h$ সে. মি., 3 সেকেণ্ডে পড়িবে $9h$ সে. মি. ইত্যাদি।

দ্বিতীয় সূত্র অনুযায়ী, যদি কোন পতনশীল বস্তু সেকেণ্ডে v সে. মি./সেকেণ্ড বেগ অর্জন করে, তবে 2 সেকেণ্ডে $2v$ সে. মি./সেকেণ্ড, 3 সেকেণ্ডে $3v$ সে. মি.

সেকেণ্ড, বেগ অর্জন করিবে। প্রথম সূত্র নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র ও মাধ্যাকর্ষণ সূত্র হইতে বাহির করা যায়। দ্বিতীয় ও তৃতীয় সূত্র দ্বিতীয় পরিচ্ছেদের ত্বরিত গতির সমীকরণাবলী হইতে বাহির করা যায়।

উদাহরণ। স্থির অবস্থায় একটি বেলুন হইতে একটি বস্তু ছাড়িয়া দেওয়া হইল। উহার পতনের শেষ সপ্তমাংশে সেকেণ্ডে উহা 23·9 মিটার উচ্চ একটি স্তম্ভ অতিক্রম করিয়াই মাটিতে পড়িল। বেলুনের উচ্চতা এবং মাটি স্পর্শ করিবার সময় বস্তুর বেগ কত হইবে? [ধর. $g = 980$ সে. মি./সেকেণ্ড^2]।

ধর, বেলুনের উচ্চতা h সে. মি., এবং মাটি স্পর্শ করিতে সময় লাগে t সেকেণ্ড ;

$$\therefore \quad h = \tfrac{1}{2} \times 980 \times t^2 = 490t^2$$

t হইতে $\frac{1}{7}$ সেকেণ্ড কম সময়ে যতটা পড়িবে তাহা হইবে,

$$h_1 = \tfrac{1}{2} \times 980(t - \tfrac{1}{7})^2 = 490(t^2 - \tfrac{2}{7}t + \tfrac{1}{49})$$
$$= 490t^2 - 14\,t + 10 \;;$$

$$\therefore \quad (h - h_1) \text{ সে. মি.} = 140t - 10$$
$$= 23{\cdot}9 \times 100 = 2390 \text{ সে. মি.} \;;$$

$$\therefore \quad 140t = 2390 + 10 = 2400$$

বা, $t = \frac{240}{14} = \frac{120}{7}$ সেকেণ্ড ;

$\therefore \quad h = 490 \times \frac{120}{7} \times \frac{120}{7} = 144000$ সে. মি. $= 1440$ মিটার।

আবার, $\frac{120}{7}$ সেকেণ্ডে অর্জিত বেগ $= 980 \times \frac{120}{7} = 16800$ সে. মি./সেকেণ্ড।

7·6 গ্রহ-উপগ্রহের গতি (Motion of Planets and Satellites) :

পঞ্চম পরিচ্ছেদে পড়িয়াছ, যদি কোন বস্তু (ভর m) v দ্রুতি সহ একটি কেন্দ্রের চারিদিকে r ব্যাসার্ধের বৃত্ত অনুসরণ করিয়া চলে, তবে একটি অভিকেন্দ্র বল (Centripetal force), মান mv^2/R বা $m\omega^2\text{R}$, বস্তুটির উপর সর্বদা কেন্দ্রের দিকে প্রযুক্ত হইবে। এখানে ω হইতেছে বস্তুর কৌণিক বেগ $\left(=\frac{v}{\text{R}}\right)$।

ইহার অর্থ, কোন বস্তু যদি v বেগে কোন দিকে চলে এবং যদি ঐ দিকের লম্ব দিকে R দূরত্বে কোন স্থির বস্তুর দিকে আকর্ষণ বল উহার উপর প্রযুক্ত হয়, আর যদি এই আকর্ষণ বলের মান হয় mv^2/R, তবে প্রথম বস্তুটি তাহার নিজস্ব দিকে যাইতে পারিবে না, কিন্তু তাহার বেগেরও মান বদলাইবে না, উহার দিক্ অনবরত বদলাইবে ; ফলে উহা শেষোক্ত বস্তুকে কেন্দ্র করিয়া সমদ্রুতি v সহ (অথবা কৌণিক বেগ $\frac{v}{\text{R}} = \omega$ সহ) R ব্যাসার্ধের বৃত্ত অনুসরণ করিয়া ঘুরিবে।

আমরা দেখি, সূর্য, চন্দ্র, গ্রহ, নক্ষত্র, সব আমাদের চারিদিকে ঘুরিতেছে। আসলে তোমরা জান, জ্যোতিবিজ্ঞানে প্রমাণিত হইয়াছে, উহা সত্য নহে। সূর্যকে কেন্দ্র করিয়া সমস্ত গ্রহ (আমাদের পৃথিবী সহ) বিভিন্ন সমদ্রুতিতে ঘুরিতেছে। আর, কোন কোন গ্রহের এক বা একাধিক উপগ্রহ (বা Satellite) আছে। যেমন, পৃথিবীর উপগ্রহ চন্দ্র। চন্দ্র পৃথিবীকে কেন্দ্র করিয়া ঘুরিতেছে।

সূর্য ও পৃথিবীর মধ্যে যে আকর্ষণ বল তাহাই পৃথিবীর অভিকেন্দ্র বল। ধর P। যদি পৃথিবীর নিজস্ব দ্রুতি হয় v, আর ভর m, তবে $P=\frac{mv^2}{R}$, (যদি R হয় পৃথিবীর বৃত্তাকার গতিপথের ব্যাসার্ধ)। আবার, P হইতেছে সূর্য ও পৃথিবীর মধ্যকার মাধ্যাকর্ষণ বল।

সুতরাং $P=G.\frac{Mm}{R^2}$ [যদি M হয় সূর্যের ভর]

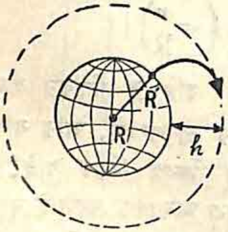
$$\therefore \quad G.\frac{Mm}{R^2}=\frac{mv^2}{R}=m\omega^2R \quad \ldots \quad \ldots \quad (7{\cdot}6{\cdot}1)$$

$$\text{বা}, \ \omega^2=GM/R^3 \quad \ldots \quad \ldots \quad (7{\cdot}6{\cdot}2)$$

সূর্যের ভর ঃ সমীকরণ (7·6·2) হইতে সূর্যের ভরও বাহির করা যায়। কারণ, $M=\frac{\omega^2R^3}{G}$। … (7·6·3) ω-র মান পৃথিবীর আপেক্ষিকে সূর্যের গতি লক্ষ্য করিয়া জানা যায়। এক বৎসর হইতেছে $365\frac{1}{4}$ দিন। এই সময়ে পৃথিবী 2π রেডিয়ান ঘোরে। ইহা হইতে ω হিসাব করা যায়।

চন্দ্র ও অন্যান্য উপগ্রহ ঃ তোমরা জান, চন্দ্র পৃথিবীর চারিদিকে সমদ্রুতিতে ঘোরে। পৃথিবী ও চন্দ্রের মাধ্যাকর্ষণ বলই চন্দ্রের অভিকেন্দ্র বল। সমীকরণ (7·6·1), (7·6·2), (7·6·3) এই ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য। ইহা হইতে পৃথিবীর ভর বাহির করা যায়।

রকেটের সাহায্যে কৃত্রিম উপগ্রহ স্থাপন করা হয়, তাহা তোমরা সকলেই জান। চিত্র নং 92-এ পৃথিবী পৃষ্ঠে তিন পাল্লার (Three-Stage) রকেটের সাহায্যে কিভাবে কৃত্রিম উপগ্রহ নিজ কক্ষপথে স্থাপন করা হয় তাহা দেখান হইয়াছে। বিরাট রকেটের তিনটি অংশ, একেবারে সামনে কৃত্রিম উপগ্রহ। প্রথম অংশ অত্যন্ত শক্তিশালী ; উহা খাড়াভাবে উপরে তুলিতে থাকে এবং অতি দ্রুত পৃথিবীর ঘন বায়ুস্তর পার হইয়া যায়। তাহার পর প্রথম অংশটি স্বয়ংক্রিয়ভাবে আলাদা হইয়া পড়িয়া যায়, যাহাতে সমগ্র যানের ভর অনেকটা কমিয়া যায়, আর তনুভবনের (rarefaction) জন্য বাধাও খুব কম হয়। দ্বিতীয় অংশ সক্রিয় হওয়ার সময় স্বয়ংক্রিয়ভাবে রকেটের দিক্ ঘুরিতে থাকে। রকেট উপরে বাঁকাভাবে উঠে। কিছুটা বাঁকিবার পর দ্বিতীয় অংশও আলাদা হইয়া পড়িয়া যায়। তৃতীয় অংশ কার্য করে। রকেটের বেগ বাড়িতে থাকে, দিক্ও বাঁকিতে থাকে। অবশেষে বেগের দিক্ ঐখানে স্পর্শক দিক্ বরাবর হয়। সেই সময় যখন এমন বেগ হয় যাহাতে ঐ সময়কার পৃথিবীর আকর্ষণ বল কৃত্রিম উপগ্রহের ঘুরিবার পক্ষে প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বলের সমান হয়, ঠিক তখন



চিত্র নং 92

তৃতীয় অংশ আলাদা হইয়া যায়। তখন কৃত্রিম উপগ্রহটি পৃথিবীর চারিদিকে ঘুরিতে থাকে, তাহার আর এঞ্জিনের প্রয়োজন নাই। কারণ, সেখানে বায়ুশূন্য অবস্থার জন্য গতির বিরুদ্ধে কোন বাধা নাই। ইহা কখন হইবে, আর কত বেগ হইলে ইহা সম্ভব হইবে?

যদি ঐ সময় পৃথিবী পৃষ্ঠ হইতে কৃত্রিম উপগ্রহের উচ্চতা হয় h_1, পৃথিবীর ব্যাসার্ধ R, পৃথিবীর ভর M, উপগ্রহের ভর m, উহার কৌণিক বেগ ω, উহার দ্রুতি v, পৃথিবী পৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ g এবং উপগ্রহের উচ্চতায় অভিকর্ষজ ত্বরণ g', তবে,

$$mg' = mv^2/(R+h)$$

$$\therefore \quad g' = \frac{v^2}{R+h} = \frac{GM}{(R+h)^2} \quad [\text{ সমীকরণ } (7{\cdot}4{\cdot}1) \text{ হইতে }]$$

বা, $v^2 = g'(R+h)$

কিন্তু h উচ্চতায় অভিকর্ষজ ত্বরণের (g'-এর) মান আমরা নিম্নলিখিতভাবে বাহির করিতে পারি।

সমীকরণ (7·4·1) হইতে, $g = \frac{GM}{R^2}$

$$\therefore \quad \frac{g'}{g} = \frac{R^2}{(R+h)^2} \quad \text{বা,} \quad g' = \frac{R^2}{(R+h)^2}\cdot g$$

$$\therefore \quad v^2 = \frac{R^2}{R+h}\cdot g \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (7{\cdot}6{\cdot}4)$$

ধর, $h = 200$ মাইল ; আমরা জানি, R = 4000 মাইল (প্রায়) ;

$$\therefore \quad v^2 = \frac{(4000\times1760\times3\times30{\cdot}48)^2}{4200\times1760\times3\times30{\cdot}48}\times978$$

$$\text{বা,} \quad v = 4000\sqrt{\frac{978\times1760\times3\times30{\cdot}48}{4200}} \text{ সে. মি./সেকেণ্ড}$$

$= 776400$ সে. মি./সেকেণ্ড $= 7{\cdot}764$ কিলোমিটার/সেকেণ্ড

$= 17370$ মাইল/ঘণ্টা (প্রায়)।

উপগ্রহের প্রদক্ষিণ কাল (Time Period of a Satellite) : উপরোক্ত সমীকরণ (7·6·4) হইতে উপগ্রহটির প্রদক্ষিণ কাল সহজেই বাহির করা যায়। যদি প্রদক্ষিণ কাল হয় T, তবে

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi(R+h)}{v}\ ।$$

উপরে দেখান হইয়াছে, যখন $h = 200$ মাইল, তখন $v = 17370$ মাইল/ঘণ্টা

$$\therefore \quad T = \frac{2\times3{\cdot}14\times4200}{17370} \text{ ঘণ্টা} = 1{\cdot}52 \text{ ঘণ্টা।}$$

$= 91{\cdot}2$ মিনিট।

উদাহরণ—যদি সূর্য ও পৃথিবীর মধ্যেকার দূরত্ব হয় $1{\cdot}49 \times 10^{13}$ সে. মি., $G = 6{\cdot}66 \times 10^{-8}$ সি. জি. এস একক, এক বৎসরে 365 দিন, তবে সূর্যের ভর কত হইবে বাহির কর।

মনে কর, সূর্যের ভর $= M$ গ্রাম

পৃথিবীর কৌণিক বেগ $\omega = \dfrac{2\pi}{365 \times 24 \times 60 \times 60}$ রেডিয়ান/সেকেণ্ড

সমীকরণ (7·6·3) হইতে,

$$M = \frac{\omega^2 R^3}{G} = \frac{4\pi^2 . (1{\cdot}49 \times 10^{13})^3}{(365 \times 24 \times 60 \times 60)^2 \times 6{\cdot}66 \times 10^{-8}}$$

$= 19{\cdot}71 \times 10^{33}$ গ্রাম

$= 4{\cdot}347 \times 10^{30}$ পাউণ্ড (প্রায়)।

7·7. মুক্তি বেগ (Escape Velocity) : তোমরা জান, কোনও বস্তুকে কোনও বেগ সহ উপরে ছুঁড়িয়া দিলে উহা অভিকর্ষের বিরুদ্ধে গতিশক্তি খরচ করে এবং কিছুদূর গিয়া মুহূর্তের জন্য স্থির হয় (কারণ গতিশক্তি শূন্য হইয়াছে) এবং তাহার পরে নামিতে থাকে, কারণ ইহার পর হইতে স্থিতিশক্তি (Potential Energy) কমে, গতিশক্তি বাড়ে। যদি উহাকে আরও বেশী বেগ সহ ছুঁড়িয়া দেওয়া হয় তবে উহা আরও বেশী উচ্চতায় উঠে এবং আবার ফিরিয়া আসে। যদি উহাকে এমন বেগ (ধর, v_e) দেওয়া হয় যে উহা অনন্ত দূরত্বে চলিয়া যায়, যেখানে পৃথিবীর আকর্ষণ শূন্য, এবং বস্তুটি আর ফিরে না। এই বেগ, যাহা থাকিলে বস্তুটি পৃথিবী হইতে অনন্ত দূরত্বে চলিয়া যায় আর ফিরে না, তাহাকে বলে বস্তুটির **মুক্তি বেগ** (Escape Velocity)। ইহার পরিমাণ হইল,

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7{\cdot}7{\cdot}1)$$

[এখানে G = মহাকর্ষ ধ্রুবক, M = পৃথিবীর ভর,
R = পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব]

লক্ষ্য করিবে, এই মুক্তি বেগ বস্তুর ভর-নিরপেক্ষ।

পৃথিবীর ভর $M = 5{\cdot}98 \times 10^{27}$ গ্রাম, ব্যাসার্ধ $R = 6{\cdot}37 \times 10^{8}$ সে. মি., $G = 6{\cdot}67 \times 10^{-8}$ সি. জি. এস. একক। সমীকরণ (7·7·1) অনুসারে হিসাব করিলে,

$v_e = 11{\cdot}2 \times 10^{5}$ সে. মি./সেকেণ্ড

$= 11{\cdot}2$ কিলোমিটার/সেকেণ্ড।

মঙ্গলগ্রহের পৃষ্ঠে ইহা 5 কিলোমিটার/সেকেণ্ড, বুধগ্রহে 3·8 কিলোমিটার/সেকেণ্ড, চাঁদে 2·4 কিলোমিটার/সেকেণ্ড।

দ্রষ্টব্য—উপরে যাহা পড়িয়াছ তাহা হইতে মনে হইতে পারে যে বস্তুকে v_e বেগ অভিকর্ষ বলের বিপরীত দিকে দিলে তবেই উহা অনন্ত দূরত্বে চলিয়া যাইবে। অন্যদিকে দিলে আবার ফিরিয়া আসিবে না। কিন্তু তাহা ঠিক নহে। ঐ বল বস্তুটিকে যে

কোন দিকেই দাও না কেন, উহা আর পৃথিবীতে ফিরিবে না। গতিশক্তি একটি স্কেলার রাশি, ইহা বেগের মানের উপর নির্ভর করে, দিকের উপর নয়। ইহা কমিলে স্থিতিশক্তি বাড়িবে, অর্থাৎ বস্তু আকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কার্য করিবে এবং পৃথিবী হইতে দূরে চলিয়া যাইবে।

ভারহীনতা (Weightlessness) ঃ ভার বা ওজন কি ? কোনও বস্তুকে হাতে করিয়া দাঁড়াও। বস্তুটির ওজন বা ভার তুমি অনুভব করিবে। পৃথিবী বস্তুকে আকর্ষণ করে ; বস্তুটি সেই বলে হাতের উপর চাপ দেয়। সুতরাং উহাকে স্থির রাখিতে তুমি বিপরীত দিকে সমান বল প্রয়োগ কর এবং তাহার ফলে বস্তুর ভার অনুভব কর। কিন্তু সূর্যও বস্তুটিকে আকর্ষণ করিতেছে, তোমাকে, পৃথিবীকে, সকলকেই আকর্ষণ করিতেছে। তাহা সত্ত্বেও বস্তুর সূর্যের আকর্ষণের জন্য কোন ভার নাই। তাহার কারণ, পৃথিবীর নিজস্ব দ্রুতি আছে ; আর সূর্যের দিকে আকর্ষণ বল তাহাকে সূর্যের দিকে টানিয়া রাখিয়াছে । এই বল অভিকেন্দ্রিক বল হিসাবে কার্য করে, আর পৃথিবীর দ্রুতির সহিত মিলিয়া পৃথিবীকে সূর্যের চারিদিকে প্রদক্ষিণ করায়। সুতরাং এই আকর্ষণ বল পৃথিবীর বা কোনও বস্তুর সূর্যের দিকে ভার সৃষ্টি করে না।

এই কারণেই, যদি কোন বস্তু পৃথিবীর চারিদিকে কোন এঞ্জিনের সাহায্য ছাড়া প্রদক্ষিণ করে, তবে পৃথিবীর আকর্ষণ বল বস্তুটির উপর কোন ভার সৃষ্টি করিতে পারে না। কৃত্রিম উপগ্রহের সেজন্য কোন ভার নাই। কৃত্রিম উপগ্রহে কোন মানুষ বা দ্রব্য কাহারও পৃথিবীর আকর্ষণের জন্য কোন ভার থাকে না। তাহাদের ভার থাকিবে কৃত্রিম উপগ্রহ দ্বারা আকর্ষণের জন্য। কিন্তু কৃত্রিম উপগ্রহের ভর এত কম যে তাহার আকর্ষণের জন্য সৃষ্ট ভার ধর্তব্যের মধ্যেই নয়। এই কারণে কৃত্রিম উপগ্রহ এবং মধ্যস্থ সকলের ভারহীন অবস্থা বিরাজ করে।

ইহার ফলে কৃত্রিম উপগ্রহে কোন মানুষ থাকিলে সে এক অদ্ভুত অস্বস্তিকর অবস্থায় থাকে। কোন বস্তু শূন্যে ছাড়িয়া দিলে তাহা শূন্যেই ঝুলিতে থাকে, মেজেতে গিয়া পড়ে না। অমসৃণ মেজেতেও স্বাভাবিকভাবে হাঁটিতে পারে না। কারণ, হাঁটিতে গেলে এক পা মেজেতে রাখিয়া পিছনের দিকে বল প্রয়োগ করিতে হয়। ঘর্ষণের জন্য সেই পা আটকাইয়া যায়, পিছনের দিকে সরে না। সেই অবস্থায় অপর পা আগাইয়া দিতে হয়। এই পিছনের দিকে প্রযুক্ত বল সর্বোচ্চ ঘর্ষণ বলের কম হওয়া চাই ; আর এই সর্বোচ্চ ঘর্ষণ বল মেজের দ্বারা অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া বলের সহিত সমানুপাতিক। [তৃতীয় পরিচ্ছেদ, ঘর্ষণ-দ্রষ্টব্য।] ভারহীনতার জন্য অভিলম্ব ক্রিয়া কিছু নাই, প্রতিক্রিয়াও কিছু নাই। ফলে সর্বোচ্চ ঘর্ষণ বল শূন্য ; পিছনের দিকে বল প্রয়োগ করিলে পা পিছলাইয়া যাইবে, অপর পা আগান যাইবে না। এইরূপভাবে ভারহীন অবস্থার জন্য অস্বস্তিকর অবস্থার সৃষ্টি হয় এবং প্রত্যেকটি অসুবিধা কাটাইতে নানারূপ অভ্যাস এবং কায়দা রপ্ত করিতে হয়।

প্রশ্নমালা

1. মহাকর্ষ ধ্রুবক কাহাকে বলে? "মহাকর্ষ ধ্রুবক $6{\cdot}6 \times 10^{-8}$ সি. জি. এস একক" এই বক্তব্যের অর্থ কি?
2. নিউটনের মহাকর্ষ তত্ত্বের সংজ্ঞা দাও। মহাকর্ষজ ত্বরণের সঙ্গে পৃথিবীর ভর, পৃথিবীর ব্যাসার্ধ এবং মহাকর্ষ ধ্রুবকের সঙ্গে সম্বন্ধ বাহির কর।
3. ভর এবং ওজনের সম্পর্ক কি? পৃথিবীর বিভিন্ন অক্ষরেখায় একটি বস্তুর ভর সমান থাকিলেও ওজনের পার্থক্য হয় কেন?
4. একটি পরীক্ষা দ্বারা দেখাও যে সমস্ত বস্তুই অভিকর্ষজ ত্বরণে সমভাবে নীচের দিকে পড়িতে থাকে।
5. একটি সরল দোলকের দোলন কাল 1·5 সেকেণ্ড। যদি অভিকর্ষজ ত্বরণের মান হয় 980 সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড^2 তবে ঐ দোলকের কার্যকরী দৈর্ঘ্য বাহির কর।
   [উত্তর :—25·84 সেন্টিমটার।]
6. একটি ঘড়ির দোলক এমনভাবে চলিতেছে যে ঘড়িটি প্রতিদিন 20 সেকেণ্ড করিয়া কম দেখায়। যদি অভিকর্ষজ ত্বরণের মান হয় 32 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে^{2}, তবে ঐ দোলকের দৈর্ঘ্য কতটা বদলাইলে ঘড়ি ঠিক চলিবে?
   [উত্তর :—·0015 ফুট।]
7. অভিকর্ষজ ত্বরণে যে কোন বস্তুর নিম্নদিকে পড়িবার নীতিগুলি লেখ। এই নীতিগুলি কিভাবে পরীক্ষা করা যায়?
8. উপগ্রহগুলির ঘূর্ণনের গতিসাম্য কিভাবে বজায় থাকে, তাহার বর্ণনা দাও।
9. একটি রকেটকে ভূপৃষ্ঠ হইতে 200 মাইল উর্ধ্বদিকে তুলিয়া বৃত্তাকারে পৃথিবীর চারিদিকে ঘুরাইয়া দেওয়া হইল। কি পরিমাণ বেগ সঞ্চারিত করিলে ঐ রকেটটি ঘুরিতেই থাকিবে?
10. ঘূর্ণায়মান রকেটের মধ্যে ভারহীনতা কিভাবে হয়, তাহা বুঝাইয়া লেখ।

অষ্টম পরিচ্ছেদ

স্থিতিস্থাপকতা (Elasticity)

8·1. **স্থিতিস্থাপকতা :** পদার্থের তিন অবস্থা—কঠিন, তরল ও গ্যাসীয়। প্রত্যেকেরই একটি নির্দিষ্ট ভর আছে। কঠিন বস্তুর একটি নির্দিষ্ট আয়তন ও আকৃতি আছে। যে কোন দিকে উহার একটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্য আছে। বস্তুটি যদি আয়তাকার ধরা হয় তবে উহার একটি দৈর্ঘ্য, একটি প্রস্থ ও একটি উচ্চতা আছে। তিনটিই দৈর্ঘ্য। বস্তুটির দুই বিন্দুতে সমান কিন্তু বিপরীতমুখী দুইটি বল (ধর, P, −P) প্রয়োগ করিলে দুই বিন্দুর মধ্যেকার দূরত্ব বাড়িবে ; কিন্তু বস্তু এই বলপ্রয়োগকে বাধা দিবে। যদি উহাদের এক বিন্দুকে দেওয়ালের সহিত আটকাইয়া অপর বিন্দুতে বল প্রয়োগ করা হয় তাহাহইলে একই অবস্থার সৃষ্টি হইবে। যেখানে আটকান হইয়াছে, প্রতিক্রিয়া, অর্থাৎ-P সেইখানে কার্য করিবে। আবার, কোন তরলকে একটি বোতলে রাখিয়া বোতলের মুখে একটি পিস্টন আঁটভাবে (tightly held) লাগাইয়া চাপ দিলে তরলের আয়তন কমিবে। উভয় ক্ষেত্রেই বস্তুটি (কঠিন বা তরল) দৈর্ঘ্যের বা আয়তনের বিকৃতি সহজে মানিয়া লইবে না ; যে বল এই বিকৃতি ঘটায় বা ঘটাইতে চেষ্টা করে, তাহাকে বা তাহাদের বাধা দেয়। ইহা পদার্থের একটি সাধারণ ধর্ম। এই ধর্মকে বলে **স্থিতিস্থাপকতা,** অর্থাৎ কোন স্থিতাবস্থা হইতে বিচ্যুতি ঘটিলে পূর্বের অবস্থা আবার স্থাপন করিবার প্রবণতা। দৈর্ঘ্য বা আয়তন বা আকৃতির বলপূর্বক একটা ভগ্নাংশ পর্যন্ত পরিবর্তন ঘটিলে বস্তুটি পূর্বের অবস্থা ফিরাইয়া আনিতে সচেষ্ট ও সমর্থ থাকে।

যে কোন বল প্রয়োগে যে বস্তুর দৈর্ঘ্য, আয়তন ও আকৃতির কোন পরিবর্তন ঘটে না তাহাকে বলে **যথাযথ দৃঢ়** (perfectly rigid) বস্তু। কোন বস্তুকেই যথাযথ দৃঢ় বলা চলে না। তবে কাঁচ ও ঢালাই ইস্পাতকে প্রায় যথাযথ দৃঢ় বলা যায়। আবার, **যে কোন** বিকৃতি ঘটাইবার পর বিকৃতিকারী বল বন্ধ করিলে যে বস্তু আবার পূর্বাবস্থায় (দৈর্ঘ্য বা আয়তন বা আকৃতি) ফিরিয়া আসে তাহাকে বলে **যথাযথ স্থিতিস্থাপক** (perfectly elastic) ; কোন বস্তুই ঠিক সেরূপ নয়।

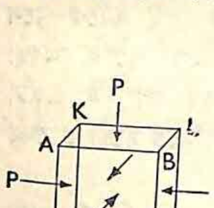
8·2. **পীড়ন ও ততি (Stresses and Strains) :** কোন বস্তুর দুই প্রান্তে একই রেখা বরাবর দুইটি সমান পরস্পরবিরোধী বলপ্রয়োগ করিলে দৈর্ঘ্যের বিকৃতি হয়, ইহা তোমরা উপরের অনুচ্ছেদে পড়িয়াছ। যদি বস্তুটির চারিদিক হইতে পৃষ্ঠের উপর লম্বভাবে একই ক্ষেত্রফলের উপর সমান বলপ্রয়োগ করা হয় তবে বস্তুটির আয়তনের বিকৃতি হয়। আবার যদি বস্তুটির দুই প্রান্তে ক্ষেত্রের উপর স্পর্শক (tangential), সমান ও পরস্পরবিরোধী বল প্রয়োগ করা হয় তবে উহাতে সৃষ্ট দ্বন্দবলের (couple) জন্য আকৃতির বিকৃতি ঘটে। যে ধরনের বিকৃতিই

হউক না কেন, উহা স্বাভাবিক দৈর্ঘ্য, আয়তন বা আকৃতির যে ভগ্নাংশ তাহাকে বলে **তবি** (Strain)। আর এই তবি একটি ভগ্নাংশ মাত্র—ইহার কোন একক নাই। ইহা একটি সংখ্যাবাচক রাশি।

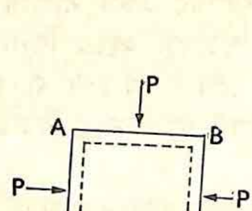
যে ধরনের তবি হউক না কেন, বস্তুটির বিকৃতির জন্য আভ্যন্তরীণ বল সৃষ্টি হইবে এবং বিকৃতি যত বাড়িবে এই আভ্যন্তরীণ বলও তত বাড়িবে। অবশেষে বিকৃতিকারী বলের বিপরীতমুখী ও সমান হইবে। বাহিরের ক্ষেত্রের প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর লম্বভাবে সৃষ্ট এই আভ্যন্তরীণ বলকে বলে **পীড়ন** (Stress)। নিউটনের তৃতীয় গতিসূত্র অনুযায়ী এই আভ্যন্তরীণ বল বাহির হইতে প্রযুক্ত বিকৃতিকারী বলের সমান। সেজন্য যে ক্ষেত্রের উপর বিকৃতিকারী বল প্রযুক্ত হইয়াছে সেই ক্ষেত্রের প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত বিকৃতিকারী বলকেই পীড়ন বলা হয়।

(i) **অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন ও তবি (Longitudinal Stress and Strain)** : যদি কোন সরু লম্বা বস্তুকে (যেমন, একটি সরু দণ্ড বা তার) দুই প্রান্তে সমান বিপরীতমুখী বল (P, −P) প্রয়োগ করা হয়, তবে উহার দৈর্ঘ্য বাড়িয়া যায়। যদি উহার স্বাভাবিক দৈর্ঘ্য হয় L এবং দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি হয় l, তবে তবি হইবে $\frac{l}{L}$; ইহাকে বলে **অনুদৈর্ঘ্য তবি**। যদি বস্তুটির প্রস্থচ্ছেদ হয় A, তবে অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন হইবে P/A ··· (8·2·1)

দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধিতে বস্তুতে টানের সৃষ্টি হয়। সেজন্য উহারা যথাক্রমে টানের তবি ও টানের পীড়ন। যদি প্রযুক্ত বল দুইটি উল্টাইয়া দেওয়া হয়, তবে চাপ সৃষ্টি হইবে ও দৈর্ঘ্য হ্রাস পাইবে (চিত্র নং 94)।



চিত্র নং 93



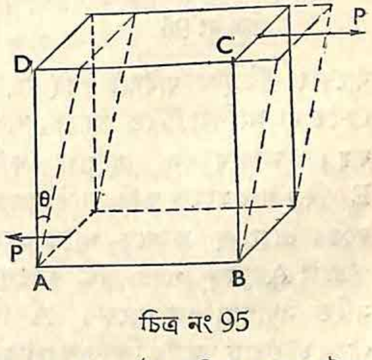
চিত্র নং 94

(ii) **আয়তনে পীড়ন ও তবি (Volume Stress and Strain)** : যদি কোন বস্তুর বাহির তলের উপর চারিদিক হইতে লম্বভাবে সর্বত্র সমান চাপ (অর্থাৎ প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর সমান বল) প্রযুক্ত হয় তবে বস্তুটির আকৃতির কোন পরিবর্তন হয় না, কিন্তু দৈর্ঘ্য, প্রস্থ প্রভৃতি রৈখিক মান সমান অনুপাতে পরিবর্তিত হয়। ফলে বস্তুর আয়তনের পরিবর্তন হয়। চিত্র নং 93-এ একটি কঠিন ঘনক ABCDNMLK দেখান হইয়াছে। ইহার ছয়টি পৃষ্ঠ সমান ক্ষেত্রফলের। প্রতিটি পৃষ্ঠের উপর একই বল P লম্বভাবে প্রযুক্ত হইয়াছে। ফলে বস্তুটি সংকুচিত হইয়াছে। ক্ষেত্র ABCD ছোট হইয়াছে। যদি বস্তুটির প্রাথমিক আয়তন হয় V এবং

চারিদিকের চাপের ফলে উহার আয়তনে v পরিমাণ পরিবর্তন হয়, তবে আয়তনে তভি হইবে v/V (চিত্র নং 94) … … …(8·2·2)

আর প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত বল P হওয়ায় আয়তনে পীড়ন হইবে $P/1=P$। কারণ, সংকুচিত অবস্থায় সাম্য প্রতিষ্ঠিত হইয়াছে, এবং বাহিরের চাপের সমান চাপ ভিতরে উৎপন্ন হইয়াছে ; এই শেষোক্ত চাপ বাহিরের চাপকে প্রতিহত করিতেছে। সুতরাং প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর বস্তুর মধ্যে উৎপন্ন বল (বহির্মুখী) প্রযুক্ত অন্তর্মুখী বলের সমান, অর্থাৎ প্রতি একক ক্ষেত্রফলে P হইবে। যদি প্রতি পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল হয় α, তবে পীড়ন হইবে P/α এবং ইহা অভিলম্ব পীড়ন (normal stress)।

(iii) **কৃন্তন পীড়ন ও তভি** (Shearing Stress and Strain): উপরের দুই রকম পীড়ন ও তভি পড়িয়াছ। উভয় ক্ষেত্রেই যে তলের উপর বল প্রয়োগ করা হয় তাহা সেই তলের লম্ব দিক্ বরাবর। ফলে ঐ তল উহার সমান্তরাল তলগুলি হইতে দূরে যায় বা কাছে আসে। কিন্তু ঐ তলের উপর সমান্তরাল দিকেও বল প্রয়োগ করা যায় এবং তাহার ফলে ঐ তল উহার সমান্তরাল তলগুলি হইতে দূরে বা কাছে না আসিয়া একই দূরত্বে থাকিয়া সরিয়া আসিতে পারে। ফলে আর এক রকমের তভি ও পীড়ন সৃষ্টি হইতে পারে। তোমরা দেখিয়াছ, একটি মোটা বাঁধান বই টেবিলের উপর শক্ত করিয়া আটকাইয়া (যাহাতে উহা সরিয়া না যাইতে পারে) উপরের মলাটে হাত রাখিয়া যদি ঐ তলের সমান্তরাল দিকে (বাঁধান দিকের লম্বদিকে) বলপ্রয়োগ করা হয়, তবে উপরের মলাটটি কিছুটা সরিয়া আসিবে, তাহার নীচের তল সামান্য কম সরিবে। তাহার নীচের তল আর একটু কম সরিবে এবং এইভাবে একেবারে নীচের তল সরিবেই না। তখন বইয়ের সামনের গাত্র একটি আয়তাকার ক্ষেত্র (rectangle) হইতে একটি সামান্তরিকে (parallelogram)-এ পরিণত হইবে। চিত্র নং 95 লক্ষ্য করিলেই ইহা বুঝিতে পারিবে। DC অনেকটা সরিয়া আসিয়াছে। ABCD চিত্রে দৃষ্টভাবে হেলিয়া গিয়াছে। ইহার ফলে বস্তুটির দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও আয়তনের কোন পরিবর্তন হয় নাই। কেবল আকৃতির পরিবর্তন হইয়াছে। ধার (edge) DC হেলিয়াছে।



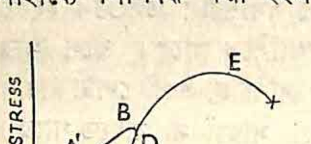
চিত্র নং 95

ইহার পরিমাণ কোণ θ দ্বারা পরিমাপ করা যায়। এই তভির মান হইবে $\theta=\tan\theta$ (কারণ, $\angle\theta$ অত্যন্ত ক্ষুদ্র) … … (8·2·3)

এই তভি অভিলম্ব নয়। তলের অভিলম্ব দিকে বল প্রযুক্ত হয় নাই, হইয়াছে স্পর্শক (tangential) দিকে। DC-তলে P ও AB তলে প্রতিক্রিয়ার জন্য সৃষ্ট P একটি দ্বন্দ্ব (couple) বা টর্ক সৃষ্টি করে।

ফলে DC সামান্য সরিয়া সাম্য অবস্থায় প্রতিষ্ঠিত হয়। এই টর্কের জন্যই ততি এবং নূতন সাম্য অবস্থায় বিপরীতমুখী সমান টর্কের সৃষ্টি। এই ধরনের ততিকে বলে **কৃন্তন ততি** (Shearing Strain)। তাহার দ্বারা সৃষ্ট পীড়ন হইল **কৃন্তন পীড়ন** (Shearing Stress)। সংজ্ঞা অনুসারে ইহার মান P হইবে। উপরের তলের ক্ষেত্রফল = P (যদি ABCD একটি একক ঘনক হয়)।

স্থিতিস্থাপক সীমা (Elastic Limit) : উপরে পড়িয়াছ, কোন বস্তুতে অভিলম্ব বল দ্বারা অথবা স্পর্শক বল দ্বারা কিছু ততি সৃষ্টি করিলে ভিতরে সমান বিরোধী বল সৃষ্টি হয়। তাহার পর বিকৃতিকারী বল প্রয়োগ বন্ধ করিলে বস্তুটি স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া আসে। কিন্তু যদি বিকৃতি বেশী সৃষ্ট হয় তবে বিকৃতিকারী বল বন্ধ করিলে বস্তু স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া আসে না, কিছু স্থায়ী বিকৃতি থাকিয়া যায়। উদাহরণস্বরূপ একটি দণ্ডকে নানা অভিলম্ব বলের প্রয়োগ করিয়া, বল বাড়াইয়া, মাঝে মাঝে বল প্রয়োগ বন্ধ করিয়া উহার ব্যবহার লক্ষ্য করিয়া গ্রাফের সাহায্যে লিপিবদ্ধ করা হইল (চিত্র নং 96)। ইহাকে বলে **ততি-পীড়ন-চক্র** (Stress-Strain-Curve)। O হইতেছে স্বাভাবিক অবস্থা। অভিলম্ব পীড়ন যত বাড়িতেছে, অভিলম্ব ততি তাহার সহিত সমানুপাতিক। এইভাবে A বিন্দু আসিল। যে কোন জায়গায় বল বন্ধ করিলে বস্তু আবার O-তে ফিরিয়া আসে। A বিন্দু পার হইলে ততির তুলনায় পীড়ন কম বাড়ে, কিন্তু বল বন্ধ করিলে আবার O-তে ফিরিয়া আসে। A′ বিন্দু পার হইলে গ্রাফ রেখা আরও বাঁকে। কিছুদূর যাইবার পর (ধর, B বিন্দুতে) বল বন্ধ করিলে দণ্ডের অবস্থা O-তে না আসিয়া C-তে আসে, অর্থাৎ OC পরিমাণ ততি স্থায়ীভাবে থাকিয়া যায়। আবার বল প্রয়োগ করিলে বস্তুর অবস্থা CDE রেখা ধরিয়া চলে। E বিন্দু পার হইলে ততি বাড়িলেও আভ্যন্তরীণ পীড়ন বাড়ার বদলে কমিতে থাকে, দণ্ডের প্রস্থচ্ছেদ কমিতে থাকে এবং চিত্রে দেখান শেষ বিন্দুতে দণ্ড ভাঙিয়া যায়। সুতরাং A বিন্দু পর্যন্ত বস্তু পরিপূর্ণ স্থিতিস্থাপক থাকে। সে পর্যন্ত পীড়ন ততির সহিত সমানুপাতিক থাকে। A বিন্দুর অনুরূপ (corresponding) ততি ও পীড়ন হইতেছে বস্তুটির **স্থিতিস্থাপক সীমা**। এই সীমা পার হইলেই আর বিশুদ্ধ স্থিতিস্থাপকতা থাকে না।



চিত্র নং 96

স্থিতিস্থাপক ক্লান্তি (Elastic Fatigue) : চিত্র নং 96-এর A হইতে A′ বিন্দু পৌঁছান পর্যন্ত বিকৃতিকারী বল বন্ধ করিলে বস্তুর অবস্থা O-তে ফিরিয়া আসে, কিন্তু ধীরে ধীরে। বস্তুর এই অবস্থাকে বলে **স্থিতিস্থাপক ক্লান্তি**।

8·3. **হুকের সূত্র** (**Hooke's Law**) : বিখ্যাত বিজ্ঞানী হুক বহু পরীক্ষা-নিরীক্ষার পরে যে সিদ্ধান্তে আসেন তাহাই **হুকের সূত্র** নামে খ্যাত। তাহা এই—

স্থিতিস্থাপক সীমা না ছাড়াইলে, যে কোনও রকমের পীড়ন ও ততির বেলায়, পীড়ন ও ততি সমানুপাতিক।

ইহার অর্থ, পীড়ন ∝ ততি

$$\text{বা,}\quad \frac{\text{পীড়ন}}{\text{ততি}} = \text{ধ্রুবক} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (8·3·1)$$

এই ধ্রুবককে বলে **স্থিতিস্থাপকতার গুণাংক** (**Modulus of Elasticity**)। ইহার মান নির্ভর করে বস্তুটি কি পদার্থের তৈয়ারী তাহার উপর এবং কি ধরনের বিকৃতিকারী বল প্রয়োগ করা হইয়াছে তাহার উপর। উপরের সমীকরণ হইতে স্থিতিস্থাপক গুণাংকের আর একটি সংজ্ঞা দেওয়া যায় যে, ইহা হইতেছে একক ততি যত পীড়ন উৎপন্ন করে তাহা, বা একক ততি উৎপন্ন করিতে যে পরিমাণ বিকৃতিকারী চাপের প্রয়োজন তাহা।

বিভিন্ন স্থিতিস্থাপকতার গুণাংক (**Different Moduli of Elasticity**) : তোমরা জান, পীড়ন ও ততি তিন প্রকারের হয়, অনুদৈর্ঘ্য, আয়তন ও কৃন্তন। প্রত্যেক প্রকারের বেলায়ই হুকের সূত্র মান্য, অর্থাৎ পীড়ন ও ততির অনুপাত (ratio) একটি বিশিষ্ট ধ্রুবক। আবার, ততি একটি সংখ্যাবাচক রাশি। সুতরাং পীড়ন ও ততির প্রকার অনুসারে স্থিতিস্থাপকতার গুণাংক তিন প্রকারের হয়, অনুদৈর্ঘ্য, আয়তন ও কৃন্তন। আর প্রত্যেক গুণাংকের একক ও মাত্রা অনুরূপ (corresponding) পীড়নের একক ও মাত্রাই হয়, অর্থাৎ বল প্রতি একক ক্ষেত্রফল।

(i) **অনুদৈর্ঘ্য গুণাংক বা ইয়ং গুণাংক (Longitudinal Modulus or Young's Modulus)** : মনে কর, একটি তার, দৈর্ঘ্য L সে. মি. ও প্রস্থচ্ছেদ α বর্গ সে. মি., এক প্রান্তে আটকাইয়া অপর প্রান্তে দৈর্ঘ্য বরাবর P ডাইন বল প্রয়োগ করা হইল এবং তাহার ফলে দৈর্ঘ্য l সে. মি. বৃদ্ধি পাইল। তাহা হইলে, অনুদৈর্ঘ্য

পীড়ন $= \frac{P}{\alpha}$ ডাইন/সে. মি.^{2} এবং অনুদৈর্ঘ্য ততি $= \frac{l}{L}$;

$$\therefore \text{ ইয়ং গুণাংক } (Y) = \frac{P}{\alpha} \div \frac{l}{L} = \frac{PL}{\alpha l} \text{ ডাইন/সে. মি.}^2 \quad \cdots \quad \cdots \quad (8·3·2)$$

(ii) **আয়তন গুণাংক (Bulk Modulus)** : ধর, একটি বস্তু, আয়তন V সে. মি.^{3} ; উহার বাহিরের তলে অন্তর্মুখী চাপ, P ডাইন প্রতি বর্গ সে. মি., প্রয়োগ

করা হইল, এবং ফলে উহার আয়তন v সে. মি.^{3} হ্রাস পাইল। তাহা হইলে, পীড়ন = P ডাইন/সে. মি.^{2}, তৃতি $=\frac{v}{V}$। তাহা হইলে আয়তন গুণাংক হইবে,

$$K=\frac{P}{\frac{v}{V}} \text{ ডাইন/সে. মি.}^2 \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (8\cdot3\cdot3)$$

কোন তরল বা গ্যাসীয় পদার্থের ইয়ং গুণাংক বলিয়া কিছু নাই ; আবার কঠিন, তরল, গ্যাসীয় প্রত্যেক পদার্থেরই আয়তন গুণাংক আছে। তরল পদার্থের আয়তন গুণাংক খুব বেশী ; গ্যাসীয় পদার্থের খুব কম। আর আয়তন গুণাংকের বিপরীত (reciprocal) রাশিকে বলে সংনমনীয়তা (compressibility)। তরল পদার্থের সংনমনীয়তা খুবই কম, গ্যাসীয় পদার্থের খুব বেশী।

(iii) **কৃন্তন গুণাংক (Modulus of Rigidity)** : মনে কর, একটি একক ঘনকের (চিত্র নং 93) কিছু দূরত্বে অবস্থিত দুইটি সমান্তরাল তলে দুইটি সমান বিপরীতমুখী বল, P, −P, ডাইন/সে. মি.^{2} প্রয়োগ করা হইল এবং তাহার ফলে ঘনকটি চিত্রে প্রদর্শিত কৃন্তন বিকৃতি পাইয়া θ কোণ হেলিয়া গেল। এখানে কৃন্তন পীড়ন হইবে $\frac{P}{\alpha}$। একক ঘনকের ক্ষেত্রে $\alpha=1$ সে. মি.^{2} এবং কৃন্তন পীড়ন হইবে P। আর কৃন্তন তৃতি হইবে θ (রেডিয়ান মাপে)। সুতরাং কৃন্তন গুণাংক হইবে,

$$n=\frac{P}{\theta} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (8\cdot3\cdot4)$$

যদি বস্তুটির উচ্চতা হয় b, আর উপরের তলের অপসারণ x, তবে $\theta=\tan\theta=\frac{x}{b}$, আর $n=P\div\frac{x}{b}=\frac{Pb}{x}$ $\quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (8\cdot3\cdot5)$

এই গুণাংক কেবল কঠিন পদার্থেরই থাকে, তরল বা গ্যাসীয় পদার্থের থাকে না। আবার, কঠিন পদার্থের আকৃতি পরিবর্তন অন্যভাবেও করা যায়, যেমন, (i) বাঁকান (flexure) দ্বারা ; একটি তক্তা দুই প্রান্তে আটকাইয়া যদি মাঝখানে বল প্রয়োগ করা হয়, তবে তক্তাটির বাঁকিয়া বিকৃতি ঘটে ; ঘড়ির স্প্রিং ধনুকের ছিলা প্রভৃতি ইহার উদাহরণ ; (ii) মোচড়ান (torsion) দ্বারা : একটি তার বা সরু দণ্ডকে একপ্রান্তে আটকাইয়া অপর প্রান্তে টর্ক প্রয়োগ করিলে দণ্ডের বিভিন্ন সমান্তরাল তল আটকান প্রান্তের দূরত্ব অনুযায়ী মোচড়াইয়া যায়।

(iv) **পয়সঁর অনুপাত** (Poisson's Ratio) : দেখা যায়, কোন তারকে ভার ঝুলাইয়া দৈর্ঘ্য বাড়াইলে সঙ্গে সঙ্গে উহার প্রস্থও হ্রাস পায়। তারকে অনুদৈর্ঘ্য চাপ দিয়া দৈর্ঘ্য কমাইলে উহার প্রস্থ বাড়ে, যদিও প্রস্থের দিকে কোন বল প্রয়োগ করা হয় নাই। ইহার অর্থ কোন বস্তুতে কোন দিক্ বরাবর একজোড়া সমান বিপরীতমুখী বল প্রয়োগ করিলে একটি অনুদৈর্ঘ্য (ধনাত্মক বা ঋণাত্মক) তৃতি এবং ঐ দিকের

লম্ব প্রত্যেক দিকে একটি পার্শ্বিক (lateral) (ঋণাত্মক বা ধনাত্মক) ততি সৃষ্ট হয়। এই শেষোক্ত ও পূর্বোক্ত ততির অনুপাতকে বলে **পয়সঁর অনুপাত**। যদি বস্তুর দৈর্ঘ্য ও উহার পরিবর্তন হয় যথাক্রমে L ও l, আর প্রস্থ ও উহার পরিবর্তন হয় যথাক্রমে B ও b, তবে অনুদৈর্ঘ্য ততি হইবে l/L; আর পার্শ্বিক ততি হইবে b/B। সুতরাং পয়সঁর অনুপাত হইবে,

$$\sigma=\frac{b}{\mathrm{B}}\div\frac{l}{\mathrm{L}}=\frac{b\mathrm{L}}{\mathrm{B}l} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (8{\cdot}3{\cdot}6)$$

যদি একটি বস্তুর দৈর্ঘ্য বরাবর বল প্রয়োগ করা হয় P (প্রতি একক ক্ষেত্রফল), তবে $\mathrm{Y}=\dfrac{\mathrm{P}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য ততি}}$

বা, $\text{অনুদৈর্ঘ্য ততি}=\dfrac{\mathrm{P}}{\mathrm{Y}}$.

আবার $\sigma=-\dfrac{\text{পার্শ্বিক ততি}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য ততি}}$;

$$\therefore \ \text{পার্শ্বিক ততি}=\frac{-\sigma\mathrm{P}}{\mathrm{Y}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (8{\cdot}3{\cdot}7)$$

কয়েকটি কঠিন পদার্থের বিভিন্ন স্থিতিস্থাপক গুণাংক

পদার্থ	ইয়ং গুণাংক (Y) (ডাইন/সে. মি.^{2} $\times 10^{11}$)	আয়তন গুণাংক (K) (ডাইন/সে. মি.^{2} $\times 10^{11}$)	কৃন্তন গুণাংক (n) (ডাইন/সে. মি.^{2} $\times 10^{11}$)	পয়সঁর অনুপাত σ
এ্যালুমিনিয়াম	7·0	7·46	1·67	·34
তামা	12·3	13·1	4·55	·337
ইস্পাত	20·9	16·4	8·12	·29
কনষ্টাণ্টান (সংকর ধাতু)	7·6	10·0	2·87	·34
ম্যাঙ্গানীজ (সংকর ধাতু)	16·2	15·5	6·1	·325
পিতল	12·4	12·1	4·65	·33
জর্মন সিলভার (সংকর ধাতু)	9·7 হইতে 10·2	10·65	3·5	·34 হইতে ·4
	11·6	…	4·3 হইতে 4·7	·37

তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা : আগেই বলা হইয়াছে, তরল ও গ্যাসের কোন স্বাভাবিক দৈর্ঘ্য বা আকৃতি নাই ; সেজন্য উহাদের কোন ইয়ং গুণাংক বা কৃন্তন গুণাংক নাই। তবে আয়তন গুণাংক সকলেরই আছে। তরলকে সংনমন (Compression) করা খুবই দুঃসাধ্য। তরলের আয়তন গুণাংক খুব বেশী। 25°C. উষ্ণতায় জলের আয়তন গুণাংক $2{\cdot}12\times10^{10}$ ডাইন/সে. মি.^{2}। গ্যাসীয় পদার্থ অত্যন্ত সংনমনীয়। অপেক্ষাকৃত অল্প চাপে উহার আয়তন হ্রাস করা যায়। চাপ প্রয়োগে যদি উহার উষ্ণতা পরিবর্তন

না হয়, তবে উহার আয়তন উহার প্রাথমিক চাপের সমান। এ সম্বন্ধে শব্দবিদ্যায় বিস্তারিত আলোচনা পাইবে।

উদাহরণ ঃ 1. একটি খাড়া সরল তার (দৈর্ঘ্য 600 সে. মি.) হইতে 20 কিলোগ্রামের একটি ভর ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। তারটির প্রস্থচ্ছেদ 1 বর্গ মি. মি.। তাহার পর ওজনটি সরাইয়া লওয়া হইলে দেখা গেল তারটির দৈর্ঘ্য হইয়াছে 599·5 সে. মি.। তারটির পদার্থের ইয়ং গুণাংক কত হইবে বাহির কর।

তারটির স্বাভাবিক দৈর্ঘ্য 599·5 সে. মি., আর ওজন চাপাইবার ফলে উহার প্রসারণ (600 − 599·5) = 0·5 সে. মি.।

$$\therefore \quad \text{তভি} = \frac{0·5}{599·5} \quad \text{পীড়ন} = \frac{20\times10^{3}\times980}{0·01} \text{ ডাইন/সে. মি.}^2 ;$$

$$\therefore \quad Y = \frac{20\times10^{3}\times980}{0·01}\times\frac{599·5}{0·5} = 2·35\times10^{12} \text{ ডাইন/সে. মি.}^2 \text{।}$$

2. একটি তারে (ইয়ং গুণাংক 10^{12} ডাইন/সে. মি.^{2}) 1 কিলোগ্রাম/মি. মি.^{2} পীড়ন হইলে উহার দৈর্ঘ্য কত শতাংশ বাড়িবে?

$$\text{পীড়ন} = \frac{1000\times981}{0·01} \text{ ডাইন/সে. মি.}^2 ;$$

$$\therefore \quad Y = 10^{12} = \frac{1000\times981}{0·01} \div \text{দৈর্ঘ্য প্রসারণ ভগ্নাংশ} ;$$

$$\therefore \quad \text{দৈর্ঘ্য প্রসারণ ভগ্নাংশ} = \frac{100000\times981}{10^{12}} = \text{একক দৈর্ঘ্যের প্রসারণ} ;$$

$$\therefore \quad 100 \text{ একক দৈর্ঘ্যের প্রসারণ} = \frac{10^{5}\times981}{10^{12}}\times100 = 981\times10^{-5} ;$$

$$\therefore \quad \text{দৈর্ঘ্য প্রসারণ} = 981\times10^{5}\,\% \text{।}$$

প্রশ্নমালা

1. হুকের সূত্র কি? পীড়ন ও তভি কাহাকে বলে বুঝাইয়া দাও। উহাদের একক কি?

2. 0·4 সে. মি. ব্যাসের একটি তারকে 25 কিলোগ্রাম ভার দিয়া টানা দেওয়া হইল। দেখা গেল, উহার 100 সে. মি. দৈর্ঘ্য বাড়িয়া হইয়াছে 102 সে. মি.। তারেব পদার্থের ইয়ং গুণাংক কত হইবে?
[উঃ $0·9\times10^{10}$ ডাইন/সে. মি.]

3. ইয়ং-এর স্থিতিস্থাপক গুণাংকের সংজ্ঞা লেখ।

একটি ইস্পাতের তারকে (দৈর্ঘ্য 200 সে. মি., ব্যাস 0·052 সে. মি.) একটি দৃঢ় বিম হইতে ঝুলাইয়া 500 গ্রাম ভার দিয়া টানা হইল। ফলে 0·231 সে. মি. দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি ঘটিল। ইহা হইতে ইস্পাতের ইয়ং গুণাংক কত বাহির কর। ($g = 981$)
[উঃ 2×10^{12} ডাইন/সে. মি.^{2}]

4. একটি পদার্থের স্থিতিস্থাপক গুণাংক কয় রকমের হইতে পারে বুঝাইয়া বল। স্থিতিস্থাপকতার সীমা বলিতে কি বুঝায়?

5. কয় রকমের বিকৃতি হইতে পারে এবং তাহারা কিভাবে হয় বুঝাইয়া বল।

6. 2·5 সে. মি. ব্যাসের একটি খাড়া পিনের উপরতলে 2000 কিলোগ্রাম ভার একটি স্পর্শক বল প্রয়োগ করা হইল। উহাতে কত কৃন্তন পীড়ন ও তভি সৃষ্ট হইবে বাহির কর। (কৃন্তন গুণাংক $n = 3·36\times10^{5}$ কিলোগ্রাম ভার/সে. মি.^{2})।
[উঃ 0·4075 মেট্রিক টন-ভার/সে. মি.^{2} ; 0·001219 রেডিয়ান]

7. 5 সে. মি. ব্যাসার্ধের একটি লোহার নিরেট গোলকের উপর 16 কিলোগ্রাম ভার/সে. মি.^{2} চাপ বাহির হইতে প্রয়োগ করা হইলে উহার আয়তনের কত পরিবর্তন হইবে? (লোহার আয়তন গুণাংক 14×10^{11} ডাইন/সে. মি.^{2})।
[উঃ $5·8\times10^{-3}$ ঘন সে. মি.]

নবম পরিচ্ছেদ

আপেক্ষিক গুরুত্ব ও উদ্‌স্থিতিবিদ্যা
(Specific Gravity and Hydrostatics)

9·1. ঘনত্ব (Density) : তোমরা প্রথম পরিচ্ছেদে ঘনত্ব সম্বন্ধে পড়িয়াছ। প্রত্যেক বস্তুর একটি ভর আছে, আর কোন একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় একটি নির্দিষ্ট আয়তন আছে। উষ্ণতা বাড়িলে তাহার আয়তনও বাড়ে। প্রতি একক আয়তনে যে ভর আছে তাহাই ঐ বস্তুর পদার্থের **ঘনত্ব**। সুতরাং ঘনত্বের মান হইবে **ভর প্রতি একক আয়তন**। বা, ঘনত্ব $= \frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}}$।

$$D = \frac{M}{V} \; [\text{ এখানে ঘনত্ব} = D, \text{ ভর} = M, \text{ আয়তন} = V \;] \quad \cdots(9·1·1)$$

অথবা, $M = V \times D$।

স্পষ্টতঃই, ঘনত্বের একক ভরের এককও আয়তনের এককের উপর নির্ভরশীল। সি.জি.এস. পদ্ধতিতে ঘনত্বের একক হইবে এক গ্রাম প্রতি ঘন সেন্টিমিটার। এফ.পি.এস. পদ্ধতিতে উহা এক পাউণ্ড প্রতি ঘন ফুট। দেখা যায়, 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় এক ঘন সেন্টিমিটার জলের ওজন এক গ্রাম, আর এক ঘন ফুট জলের ওজন 62·5 পাউণ্ড। সুতরাং 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব 1 গ্রাম/সি. সি. (gm/c.c) বা 62·4 পাউণ্ড/ঘন ফুট। এ সম্বন্ধে তোমরা নবম ও দশম শ্রেণীতে পড়িয়াছ।

আপেক্ষিক গুরুত্ব (Specific gravity) : কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব বলিতে বুঝায় একটি প্রামাণ্য পদার্থ (standard substance)-এর তুলনায় উহা কতগুণ ভারী। এইপ্রামাণ্য পদার্থ হইতেছে 4° (আরও সূক্ষ্মভাবে 3·8°) সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় বিশুদ্ধ জল। সুতরাং কোনও পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব হইল ঐ পদার্থের যে কোন আয়তনের ওজন ও সম-আয়তন জলের (4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায়) ওজনের অনুপাত।

∴ কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$= \frac{\text{ঐ পদার্থের যে কোন আয়তনের ওজন}}{4^\circ \text{ সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় সম-আয়তন জলের ওজন}}$$

$$= \frac{\text{ঐ পদার্থের একক আয়তনের ওজন}}{4^\circ \text{ সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় একক আয়তন জলের ওজন}}$$

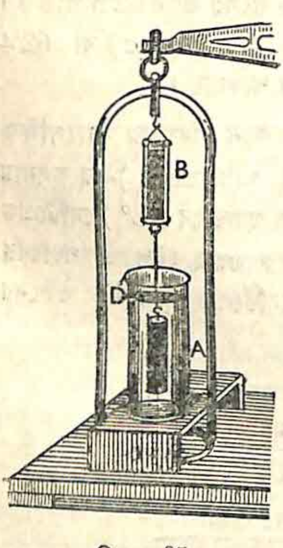
$$= \frac{\text{ঐ পদার্থের ঘনত্ব}}{4^\circ \text{ সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব}}।$$

তোমরা জান, 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব 1 গ্রাম / সি. সি. বা 62·4 পাউণ্ড / ঘন ফুট। সুতরাং সি.জি.এস পদ্ধতিতে কোন পদার্থের ঘনত্ব ঐ পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্বের সমান। কিন্তু এফ.পি.এস. পদ্ধতিতে কোন পদার্থের ঘনত্ব ঐ পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্বের 62·4 গুণ।

9·2. **আর্কিমিডিসের সূত্র** (Archimedes' Principle) ঃ একটি পাথর হাতে ধরিতে যত ভারী লাগে, জলে বা কোনও তরলে ডুবাইয়া হাতে ধরিলে তাহা অপেক্ষা কম ভারী লাগে। এ সম্বন্ধে নানা পরীক্ষার ফলে প্রাচীন গ্রীক পণ্ডিত আর্কিমিডিস একটি তথ্য উপলব্ধি করেন। ইহাই বিখ্যাত **আর্কিমিডিসের সূত্র**। ইহা হইল—

কোন বস্তু কোন স্থির তরলে সম্পূর্ণ বা আংশিক ডুবাইলে এবং স্থির রাখিলে ওজনে কমিয়া যায় বলিয়া মনে হয় এবং এই আপাতঃ ওজন হ্রাসের পরিমাণ ঐ বস্তুর দ্বারা অপসারিত তরলের ওজনের সমান হয়।

পরীক্ষা—এই সূত্রের সত্যতা সম্বন্ধে পরীক্ষা করিতে একটি সাধারণ তুলা লওয়া হয় (চিত্র নং 97)। উহার একটি স্কেল প্যানের উপরের হুক হইতে সুতা দিয়া একটি ধাতুনির্মিত বেলন (cylinder) B এবং তাহার নীচে আর একটি ধাতুনির্মিত বেলন A ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। বেলন A নিরেট এবং বেলন B ফাঁপা এবং এমনভাবে তৈয়ারী যে বেলন A বেলন B-র ফাঁপা অংশে পুরাপুরি বসান যায়। অর্থাৎ A-র সমগ্র আয়তন B-র ফাঁপা অংশের আয়তনের সমান। এইবার অন্য স্কেল প্যানে উপযুক্ত ওজন চাপান হয়, যাহাতে বিম অনুভূমিক হয়। এখন একটি কাঠের প্ল্যাটফরম এমনভাবে টেবিলের উপর প্যানকে ঢাকিয়া রাখা হয়, যেন প্যানকে স্পর্শ না করে এবং উহার উপরে কিছু রাখিলে ভার টেবিলের উপর পড়ে, প্যানের উপর পড়ে না। এইবার একটি বীকার (beaker) A-র নীচে প্ল্যাটফরমের উপর রাখিয়া তাহাতে জল (বা কোনও তরল) ঢালা হইল, যাহাতে কেবল বেলন A পুরাপুরি ডুবিয়া যায় কিন্তু B স্পর্শ না করে। সঙ্গে সঙ্গে দেখা যাইবে বিম হেলিয়া ডান দিকে নামিয়া গিয়াছে। এইবার বেলন B পুরাপুরি জল (বা ঐ তরল) দিয়া ভর্তি করা হইল। দেখা যাইবে যে বিম আবার অনুভূমিক হইয়াছে। ইহা হইতেই প্রমাণ হয় যে জলে (বা কোনও তরলে) ডুবাইলে বেলন A উহার সম-আয়তন জলের (বা ঐ তরলের) ওজনের সমান ওজন হ্রাস পায়। ইহা আর্কিমিডিসের সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করে।



চিত্র নং 97

কিন্তু এই ওজন-হ্রাস সত্য সত্যই হয় না, হয় বলিয়া মনে হয় মাত্র। তাহা দেখাইতে হইলে উপরোক্ত তুলার বামদিকে প্ল্যাটফরম সরাইয়া পরীক্ষা করিতে হয়।

ওজন হ্রাস যে সত্যই হয় না তাহা দেখাইবার পরীক্ষাঃ প্ল্যাটফরম সরাইয়া স্কেল প্যানের উপর একটি খালি বীকার এবং একটি জলভর্তি বীকার বসান হইল। উপরের হুক হইতে আগেকার A ও B ঝুলান হইল। A ঝুলিবে খালি বীকারের মধ্যে, কিন্তু বীকারকে স্পর্শ করিবে না। ডান দিকের স্কেল প্যানে উপযুক্ত ওজন রাখিয়া বিম অনুভূমিক করা হইল। এইবার খালি বীকারটিতে পাশের জলভর্তি বীকার হইতে জল (বা ঐ তরল) ঢালিয়া যেলন A সম্পূর্ণ ডুবাইয়া দেওয়া হইল। কিন্তু বিম তবুও অনুভূমিকই থাকিবে। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে A-র ওজন হ্রাস সত্য সত্যই হয় না, অপসারিত জলের (বা তরলের) ঊর্ধ্বমুখী বলের জন্য ওজন হ্রাস পায় বলিয়া মনে হয়। নিউটনের তৃতীয় গতিসূত্র অনুযায়ী এই বলের সমান নিম্নমুখী বল প্রতিক্রিয়া হিসাবে A প্রয়োগ করিবে জলের (বা তরলের) উপর। প্রথম পরীক্ষায় এই প্রতিক্রিয়া প্ল্যাটফরমের উপর কার্যকর হয়, স্কেল প্যানের উপর কিছুই হয় না। ফলে আপাতঃ ওজন হ্রাস হয়। কিন্তু এই পরীক্ষায় নিম্নমুখী প্রতিক্রিয়া স্কেল প্যানের উপর, এবং ফলে তুলার বাহুর উপর কার্যকর হয়। ফলে কোনও ওজন হ্রাস দেখা যায় না।

প্লবতা (**Buoyancy**)ঃ নিমজ্জিত বস্তুকে অপসারিত তরল যে ঊর্ধ্বমুখী বলপ্রয়োগ করে তাহাকে বলে **প্লবতা**। প্লবতার জন্যই নিমজ্জিত বস্তু হালকা মনে হয়। এই প্লবতার পরিমাণের উপর নির্ভর করিবে কোনও বস্তু তরলে ছাড়িয়া দিলে ডুবিবে না ভাসিবে।

আর্কিমিডিস সূত্রের ব্যবহারিক প্রয়োগ ঃ আর্কিমিডিস সূত্র ব্যবহার করিয়া বস্তুর আয়তন, ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির করা হয়। যদি কোনও বস্তুর ওজন হয় W গ্রাম এবং একটি তরলে (ঘনত্ব ρ গ্রাম/সি. সি.) ডুবাইয়া উহার ওজন হয় W_1 গ্রাম, তবে বস্তুর আপাতঃ ওজন হ্রাস ($W-W_1$) গ্রাম, এবং আর্কিমিডিস সূত্রানুসারে ইহা বস্তুর সমান আয়তন (ধর, V সি. সি.) তরলের ওজনের, অর্থাৎ $V.\rho$ গ্রামের সমান।

$$\therefore \quad W-W_1=V.\rho$$

$$\text{বা,} \quad V=\frac{W-W_1}{\rho} \text{ সি. সি.} \quad \cdots \quad (9{\cdot}1)$$

যদি তরলটি জল হয়, তবে $\rho=1$ গ্রাম/সি. সি., এবং $V=W-W_1$ সি. সি.,

যদি বস্তুটির ঘনত্ব হয় d গ্রাম/সি. সি., তবে

$$W=V.\,d\,;$$

$\therefore\ \frac{W}{W-W^1}=\frac{d}{\rho}=d$ (যদি তরলটি জল হয়, এবং $\rho=1$ গ্রাম/সি. সি.

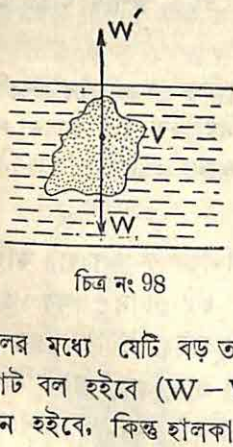
তোমরা জান, সি.জি.এস পদ্ধতিতে যাহা ঘনত্ব তাহাই আপেক্ষিক গুরুত্ব।

$$\therefore \text{ আপেক্ষিক গুরুত্ব} = S = \frac{W}{W-W_1} \quad \cdots \quad (9.2.1)$$

এফ.পি.এস পদ্ধতিতে জলের ঘনত্ব 62·4 পাউণ্ড/ঘন ফুট। সুতরাং এফ.পি.এস পদ্ধতিতে, $d=62.4\times\frac{W}{W-W_1}$

9·3. ভাসন (Flotation) : কোন বস্তু হাতে ধরিয়া দাঁড়াইলে উহার ওজন অনুভব করা যায়। উহাকে জলে ডুবাইয়া হাতে ধরিয়া দাঁড়াইলে কিছুটা হালকা মনে হয়। কিন্তু ঐ হালকা ওজনই অনুভব করা যায়। বস্তুটি যদি জল অপেক্ষা হালকা হয় তবে কোন ওজনই অনুভব করা যায় না। অর্থাৎ বস্তুর ওজন সম্পূর্ণ হ্রাস পায়। বস্তুটি জলে কিছুটা অংশ ডুবাইয়া ভাসিতে থাকে।

চিত্র নং 98-এ V ঘ. সে- মি. আয়তনের বস্তু, একটি তরলে ডুবাইয়া ছাড়িয়া দেওয়া হইয়াছে। বস্তুটির ওজন যদি W হয়, তবে বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণের জন্য W পরিমাণ বল নিম্নমুখী প্রযুক্ত হইয়াছে। আবার V ঘন সে. মি. আয়তনের তরলের ওজন যদি হয় W′, তবে প্লবতার জন্য W′ পরিমাণ বল ঐ বস্তুটির উপরই অপসারিত তরল প্রয়োগ করিতেছে। এখন যদি বস্তুটির ঘনত্ব হয় d_1, এবং তরলের ঘনত্ব d_2, তবে



চিত্র নং 98

$$W=V.\,d_1\ ;\quad W'=V.\,d_2.$$

সুতরাং বস্তুর উপর প্রযুক্ত মোট বল হইবে W এবং W′-এর অন্তর এবং তাহা ঐ দুই বলের মধ্যে যেটি বড় তাহার দিকেই কার্যকর হইবে। যদি $d_1>d_2$ হয়, তবে মোট বল হইবে $(W-W')$ বা $V\ (d_1-d_2)$, নিম্নমুখী। ফলে বস্তুটি হালকা মনে হইবে, কিন্তু হালকা হইয়া উহা নীচের দিকেই ডুবিয়া যাইবে।

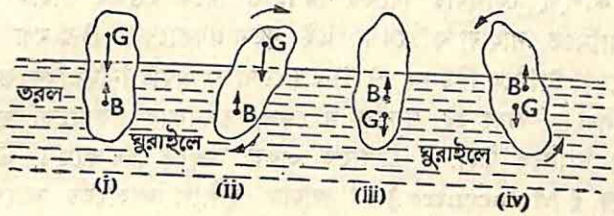
কিন্তু যদি $d_1=d_2$ হয়, তবে $W=W'$ এবং বস্তুর উপর কোনও বলই কার্যকর হইবে না। ফলে বস্তুটি সম্পূর্ণ নিমজ্জিত অবস্থায় স্থির থাকিবে, ভাসিয়াও উঠিবে না আর ডুবিয়াও যাইবে না।

যদি $d_1<d_2$ হয়, তবে $W<W'$ এবং প্রযুক্ত মোট বল হইবে $V(d_2-d_1)$, ঊর্ধ্বমুখী। ফলে বস্তুটি তরলের ভিতর হইতে ক্রমে জাগিতে থাকিবে। যতই জাগিতে থাকিবে ততই নিমজ্জিত অংশের আয়তন কমিবে, অপসারিত তরলের আয়তন ও তাহার ওজন, এবং ফলে প্লবতা কমিতে থাকিবে। কিন্তু ওজন W ঠিক থাকিবে। ফলে প্লবতা কমিতে কমিতে W-র সমান হইবে। তখনই বস্তুটি

আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় স্থির হইবে। সেই অবস্থায় যদি V′ ঘন সে. মি. আয়তন তরলের ভিতরে থাকে, তবে প্লবতা হইবে $V'd_2$ এবং $V.d_1 = V'.d_2$.

অথবা, $\frac{V}{V'} = \frac{d_2}{d_1}$.

আংশিক নিমজ্জিত ভাসমান বস্তুর আর একটি বৈশিষ্ট্য এই যে, সমগ্র বস্তুর ভারকেন্দ্র (G) ও অপসারিত তরলের ভারকেন্দ্র (B) একটি খাড়া সরলরেখায় অবস্থিত থাকে (চিত্র নং 99)। তাহা না হইলে বস্তু স্থির থাকিবে না। টর্ক সৃষ্টি হইবে।



চিত্র নং 99

বস্তুটিকে ঘুরাইয়া দিলে উহা কাৎ হইয়া থাকে না, উহা আরও ঘুরিয়া এমন অবস্থায় আসে যে কেন্দ্র দুইটি আবার খাড়া সরলরেখায় অবস্থিত হয়।

(i) অবস্থায় ঘুরাইয়া (ii) অবস্থায় আনিয়া ছাড়িয়া দিলে, চিত্রের তীর চিহ্নের দিকে ভ্রামকের সৃষ্টি হয় এবং আরও ঘুরিয়া (iii) অবস্থায় আসিয়া স্থির হয়। আবার ঘুরাইলে উল্টাদিকে ভ্রামকের সৃষ্টি হয় (iv) এবং ঘুরিয়া আবার (iii) অবস্থায় ফিরিয়া আসে।

এই অবস্থা (iii) সুস্থিত (stable) অবস্থা। এই অবস্থায় বস্তুর ভারকেন্দ্র অপসারিত তরলের ভারকেন্দ্রের নীচে থাকে। এইজন্যই সমুদ্রগামী জাহাজের একেবারে নীচে ভারী জিনিস দিয়া ভরিয়া দেওয়া হয়, যাহাতে সমগ্র জাহাজের ভারকেন্দ্র অপসারিত তরলের ভারকেন্দ্র হইতে নীচে থাকে। অন্যথায় জাহাজ ঝড়ে পড়িয়া উল্টাইয়া যাইতে পারে। এইজন্য খালি জাহাজ সমুদ্রযাত্রা করে না; একেবারে বেশ কিছু লবণ বা পাথর লইয়া যায় যাহাতে জাহাজের ভারকেন্দ্র যথেষ্ট নীচে থাকে। অপসারিত তরলের ভারকেন্দ্রকে বলা হয় **প্লবতাকেন্দ্র** (centre of buoyancy)।

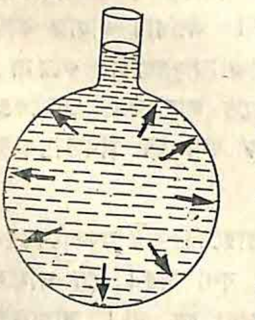
9·4. মেটাকেন্দ্র (Metacentre) : জাহাজের ভারকেন্দ্র যদি প্লবতাকেন্দ্রের নীচে থাকে তবে জাহাজের সত্যিই সুস্থিত অবস্থা আছে বলা যায়। সে জাহাজ কিছুতেই উল্টাইয়া ডুবিবে না। কিন্তু তাহা করা সম্ভব হয় না। ভারকেন্দ্র সাধারণতঃ প্লবতাকেন্দ্রের সামান্য উপরেই থাকে। জাহাজ যদি একদিকে হেলিয়া যায় তবে তাহার ভারকেন্দ্র (centre of gravity) জাহাজের আপেক্ষিকে স্থানচ্যুত

হয় না, কিন্তু জাহাজ হেলিয়া যাওয়ায় সমুদ্রের আপেক্ষিকে সরিয়া যায়। এদিকে জাহাজ হেলিলে অপসারিত জলের আকৃতির পরিবর্তন হয়। ফলে হেলিবার সঙ্গে সঙ্গে প্লবতা-কেন্দ্রও স্থানচ্যুত হয়, জাহাজের আপেক্ষিকেও। জাহাজের নিমজ্জিত অংশের আকৃতি এইরূপ করা হয় যে, জাহাজ যেদিকে হেলে প্লবতাকেন্দ্র ভারকেন্দ্রের সেই দিকেই সরে।

দেখা যাইতেছে [চিত্র নং 99 (ii)] ভারকেন্দ্র G-র অবস্থান একই আছে, কিন্তু অপসারিত তরলের আকৃতির পরিবর্তন হওয়ায় প্লবতাকেন্দ্র স্থানচ্যুত হইয়া B-তে, অর্থাৎ G-র বামদিকে আসিয়াছে। ফলে একটি দ্বন্দ বা কাপ্‌লের সৃষ্টি হইয়াছে এবং এই কাপ্‌ল্ হেলিবার দিকের বিপরীত দিকে হওয়ায় জাহাজকে পূর্বেকার অবস্থায় আনিতে সাহায্য করিবে। এই নূতন প্লবতাকেন্দ্র B-র মধ্য দিয়া একটি খাড়া সরলরেখা টানিলে চিত্র নং 99 (i)-এর রেখাকে একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে ছেদ করে। জাহাজ হেলিয়া যে অবস্থায়ই থাকুক না কেন, তখনকার প্লবতাকেন্দ্রের ভিতর দিয়া খাড়া রেখা টানিলে উহা ঐ রেখাকে একই বিন্দুতে ছেদ করে। ঐ বিন্দুর নাম **মেটাকেন্দ্র (Metacentre)**। জাহাজ হেলিলে জাহাজের আপেক্ষিকে এবং জলের আপেক্ষিকেও মেটাকেন্দ্র অপরিবর্তিত থাকে। সুতরাং জাহাজের ভারকেন্দ্র প্লবতাকেন্দ্রের উপরে থাকিলেও যদি মেটাকেন্দ্রের নীচে থাকে তবেই জাহাজ সুস্থিত সাম্য অবস্থা পাইবে।

9·5. তরলের চাপ (Liquid Pressure) : তোমরা দশম শ্রেণীতে পড়িয়াছ, কোন কঠিন বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করিলে ঐ বস্তু বলের দিকে অন্য কোন বস্তু থাকিলে তাহার উপর সেই বল প্রয়োগ করে বা চাপ দেয়, কিন্তু অন্যদিকে কোন চাপ দেয় না। একটি ইটকে হাতে করিয়া দাঁড়াইলে ইটের ওজনের জন্য চাপ অনুভব করা যায়। কিন্তু সেই সময়েই ইটের পাশের দিকে হাত দিয়া ছুঁইলে কোন চাপ অনুভব হয় না।

এইবার ধর, একটি পাত্রে তরল ভর্তি করিয়া রাখা আছে (চিত্র নং 100)। পাত্রের ধারে এবং নীচে যদি কয়েকটি ছোট ছিদ্র করা হয় তবে দেখা যাইবে (i) প্রতি ছিদ্র দিয়া তরল ফিন্‌কি দিয়া বাহির হইতেছে, (ii) **যে ছিদ্র যত নীচে তাহা দিয়া বহির্গামী তরলের বেগ তত বেশী, আর (iii) প্রতি ছিদ্রতলকে তরলের ফিন্‌কি লম্বভাবে অতিক্রম করিতেছে ;** পরে অবশ্য পৃথিবীর আকর্ষণের জন্য অধিবৃত্ত (parabola) আকারের কক্ষপথে নামিয়া আসে।


চিত্র নং 100

যে কোন তলের উপর তরলের **চাপ** হইল ঐ তলের একক ক্ষেত্রফলের উপর তরল দ্বারা প্রযুক্ত লম্ব ঘাত (thrust) বা বল। আর ঐ তলের যে কোন দুইটি সমান, অতি ক্ষুদ্র, ক্ষেত্রের উপর প্রযুক্ত ঘাত যদি সমান হয় তবে ঐ চাপকে বলে সমচাপ (uniform pressure)। যদি তলের

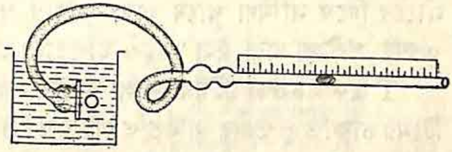
ক্ষেত্রফল হয় A, আর উহার উপর লম্ব ঘাত হয় F, তবে চাপ হইবে,

$$P=\frac{F}{A} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.5.1)$$

যদি ঐ তলের উপর চাপ অসম হয়, তবে $\frac{F}{A}$ হইবে গড় চাপ (average pressure)।

কোন বিন্দুতে চাপ (Pressure at a Point) : কোন বিন্দুতে তরলের চাপ হইল ঐ বিন্দুকে অন্তর্ভুক্ত করিয়া একটি অতি ক্ষুদ্র ক্ষেত্র, যাহার ক্ষেত্রফল δA, (অবকলন গণিতের ভাষায়) অঙ্কিত করিলে তাহার উপর যে ঘাত δF তরল দ্বারা প্রযুক্ত হয় সেই ঘাতকে ঐ ক্ষেত্রফল দ্বারা ভাগের ফল, অর্থাৎ $\frac{\delta F}{\delta A}$।

9·6. তরলের ভিতরে চাপ (Pressure within a Liquid) : কোন পাত্রে রক্ষিত তরল যে কেবল পাত্রের গাত্রেই চাপ দেয় তাহা নয়, ভিতরের সর্বত্রই চাপ দেয় এবং সমানভাবে সবদিকে। ইহা নীচের পরীক্ষা দ্বারা দেখান যায়—একটি থিস্‌ল্ কুপীর (thistle funnel) মুখে একটি ছোট রবারের পর্দা শক্ত করিয়া আঁটিয়া বন্ধ করা হইল। তাহার পর লম্বা সমপ্রস্থচ্ছেদের একটি কাঁচের নলের সহিত রবার নল দিয়া যুক্ত করা



চিত্র নং 101

হইল। কাঁচের নলের মধ্যে অল্প রঙিন তরল দিয়া উহাকে নলের মাঝামাঝি জায়গায় রাখা হইল ; আর কাঁচের নলটি অনুভূমিক করিয়া রাখা হইল। পাশে সমান্তরালভাবে একটি স্কেল রাখা হইল। এইবার একটি পাত্র কোন তরলে ভর্তি করিয়া তাহার মধ্যে থিস্‌ল্ কুপীটি ডুবাইয়া দেওয়া হইল (চিত্র নং 101)। দেখা যাইবে, কুপীটি যত নামিতেছে, রঙিন তরলের সূচকটি (I) তত ডান দিকে যাইতেছে। কোন একস্থানে ডুবাইয়া যদি কুপীটি এমনভাবে ঘুরান হয়, যাহাতে রবার পর্দার কেন্দ্র স্থির থাকে, কিন্তু পর্দাটি ঘুরে, কখনও অনুভূমিক কখনও খাড়া। কখনও অনুভূমিক কিন্তু উপর দিকে মুখ করিয়া, তাহা হইলে দেখা যাইবে, সূচক কিন্তু স্থির আছে। আবার দেখা যায়, কুপীটির গভীরতা বদলাইলে সূচকটির অপসারণ হয় এবং এই অপসারণ গভীরতার সহিত সমানুপাতিক। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে,

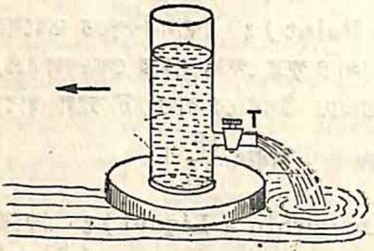
(i) কোন তরল তাহার ভিতরে প্রতি বিন্দুতে চাপ দেয় এবং **সমস্ত দিকে সমানভাবে,** কেবল নীচের দিকে নয় (যদিও এই চাপ দিবার সামর্থ্য পৃথিবীর আকর্ষণের জন্যই হইয়াছে)।

(ii) এই চাপ তরলের মধ্যে যে কোন অনুভূমিক তলে সমস্ত বিন্দুতে সমান।

(iii) যে কোন বিন্দুতে প্রযুক্ত চাপ ঐ তরলের মুক্ত তল (free surface) হইতে কত নীচে তাহার উপর সমানুপাতিকভাবে নির্ভরশীল।

পার্শ্বচাপ (Lateral Pressure)ঃ তরল যে পার্শ্বচাপ দেয় তাহা একটি পরীক্ষা দ্বারা দেখা যায়।

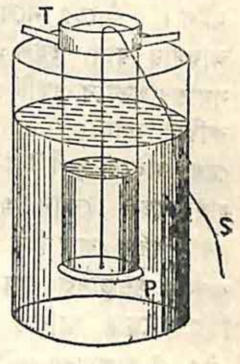
একটি বেলন জলে ভর্তি (চিত্র নং 102)। উহার নীচের দিকে একপাশে একটি কল (T) রহিয়াছে। উহা একটি বড় কর্কের উপর রাখিয়া সমস্তটা একটি জলে ভর্তি বড় চৌবাচ্চায় ভাসাইয়া দেওয়া হইল। এইবার কলটি খুলিয়া দিলেই দেখা যাইবে, সমস্ত বেলনটি কর্কসহ উল্টাদিকে চলিতেছে।



চিত্র নং 102

ঊর্ধ্বচাপ (Upward Pressure)ঃ তরল যে ভিতরে যে কোন তলে ঊর্ধ্বচাপ দেয় তাহা একটি খালি পরীক্ষা নল (test-tube) সোজা করিয়া ধরিয়া নীচের দিকে চাপ দিলেই বুঝা যায়। পরীক্ষা নলটি কিছুটা নীচের দিকে নামিয়া থামে এবং তাহার পর সজোরে উপরে উঠিয়া আসে। আর একটি পরীক্ষা দ্বারা ইহা আরও ভালভাবে দেখান যায়—

T একটি চওড়া দুইমুখ খোলা কাঁচের নল (চিত্র নং 103)। P একটি পাতলা মসৃণ টিনের চাকতি ; উহার সহিত একটি সুতা S যুক্ত। টিনের চাকতিটি T-র নীচের মুখে রাখ। এইবার সুতাটি টান করিয়া ধরিয়া চাকৃতিটিকে আলগা অথচ ভালভাবে আটকাইয়া কাঁচের নলটি জলে ভর্তি একটি পাত্রে ডুবাইয়া দাও। একটু নীচে নামিলেই দেখা যাইবে চাকতিটি আঁটিয়া আছে। সুতার আর দরকার হইতেছে না। কিছুদূর নামাইয়া স্থির করিয়া রাখ। তাহার পর কাঁচের নলের মধ্যে অল্প অল্প করিয়া জল ঢাল। যখন নলের ভিতরকার জল বাহিরের জলের সঙ্গে এক তলে আসিবে, তখন হঠাৎ টিনের চাকতিটি আলগা হইয়া পড়িয়া যাইবে। ইহা হইতে ঊর্ধ্বচাপের অস্তিত্ব পরিষ্কারভাবে প্রমাণ হয় তদুপরি এই ঊর্ধ্বচাপের পরিমাণ ও হিসাব করা যায়।



চিত্র নং 103

ধর, চাকতিটির ক্ষেত্রফল $= \mathrm{A}$;
বাহিরের তরলের মুক্ততল হইতে উহার গভীরতা $= h$,
তরলের ঘনত্ব $= \rho$

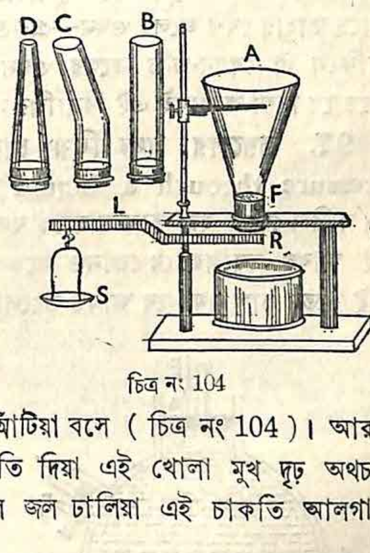
যেহেতু চাকতির উপরে h উচ্চতার তরল স্তম্ভ জমিলেই চাকতি আলগা হয়, সুতরাং চাকতির উপর প্রযুক্ত ঊর্ধ্বঘাত $= \mathrm{A}h\rho$, ভরের ওজন $= \mathrm{A}g\rho h$;

$$\therefore \text{ চাকতির উপর গড় চাপ} = \frac{\mathrm{A}g\rho h}{\mathrm{A}} = g\rho h \quad \ldots\ldots \quad (9{\cdot}6{\cdot}1)$$

ইহাই হইতেছে চাকতির যে কোন বিন্দুর উপর চাপ, কারণ চাকতিটি অনুভূমিক এবং উহার প্রতিবিন্দুর গভীরতা (মুক্ত তল হইতে) একই, অর্থাৎ h।

কাঁচের নলটি যদি সম প্রস্থচ্ছেদের না হইত তাহা হইলেও চাকতির উপর ঊর্ধ্বঘাত একই হইত এবং চাকতির উপরের তরল বাহিরের তরলের সহিত একই তলে আসিলে তবেই চাকতিটি আলগা হইত। যদি কাঁচের নলটি কুপী আকারের হইত তবে ভিতরের তরল h উচ্চতায় উঠিতে বহু তরল দরকার হইত, কিন্তু চাকতিটি তখনই খুলিত, যখন তরল ভিতরে ও বাহিরে একই তলে আসিয়াছে। ইহা একটি **উদ্‌স্থিতি কূট** (Hydrostatic Paradox)। ইহা যুক্তির সাহায্যেও প্রমাণ হইয়াছে এবং একটি পরীক্ষার দ্বারাও প্রমাণ করা যায়। এই পরীক্ষাকে বলে **ম্যাসনের পরীক্ষা (Mason's Experiment)**। ইহা চিত্র নং 104 লক্ষ্য করিলেই বুঝিবে।

A, B, C, D—চারিটি দুইমুখ খোলা কাঁচনল। উপরের প্রস্থচ্ছেদ নানা রকমের, কিন্তু নীচের প্রস্থচ্ছেদ সকলেরই সমান। সকলেরই নীচের মুখের বাহিরে একটি পিতলের আংটা আটকান এবং আংটার বাহিরে স্ক্রু প্যাঁচ কাটা। নীচে দেখা যাইতেছে একটি সাধারণ তুলা (common balance) L; উহার একদিকে একটি স্কেল প্যান, অপরদিকে বিমের উপরে একটি মসৃণ পিতলের চাকতি বসান।



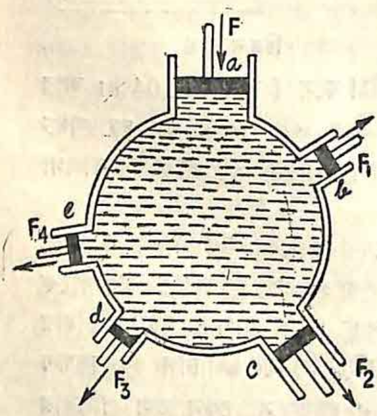
চিত্র নং 104

একটি দৃঢ় কাঠের ফ্রেমের উপর ছিদ্র করিয়া এমন প্যাঁচ কাটা থাকে যে কাঁচ নলের নীচের মুখ ঐ ফ্রেমের ছিদ্রের সহিত আঁটিয়া বসে (চিত্র নং 104)। আর বামদিকে ওজন চাপাইয়া ডানদিকের চাকতি দিয়া এই খোলা মুখ দৃঢ় অথচ আলগাভাবে বন্ধ করা যায়। আবার কাঁচ নলে জল ঢালিয়া এই চাকতি আলগা করা যায়।

যখন ভিতরের জলের জন্য নিম্নমুখী ঘাত বামদিকের ওজনের জন্য চাকতির দ্বারা প্রযুক্ত ঊর্ধ্বঘাত দুইটি সমান হয় তখনই চাকতি আলগা হয় এবং ভিতরে যে জল থাকে তাহা পড়িয়া যায়। প্রথমে বামদিকে আন্দাজমত কিছু ওজন চাপান হয়। তাহার পর, পর পর A, B, C, D-কে ফ্রেমের সহিত আঁটিয়া ভিতরে জল ঢালা হয়, যতক্ষণ না জল পড়িতে থাকে। দেখা যায়, যে নলই লাগান হউক না কেন জল পড়িবার জন্য প্রয়োজনীয় জলের উচ্চতা একই—নল উপরে মোটাই হউক আর সরুই হউক। ইহার অর্থ কোন তলের উপর প্রযুক্ত ঘাত নির্ভর করে তলের ক্ষেত্রফল, জলের (বা তরলের) উচ্চতা ও তরলের ঘনত্বের উপর।

বিভ্রান্তি ও তাহার নিরসন—উপরের পরীক্ষার ফল হইতে তোমাদের একটি বিভ্রান্তি হইতে পারে। B-একটি বেলন। A-তে জল ধরে অনেক বেশী, D-তে অনেক কম। A-র বাড়তি জলের ওজন যায় কোথায়? আর D-তে অনেক কম জলের ওজন অপেক্ষা বেশী ঘাত তুলাযন্ত্রের চাকতির উপর কি করিয়া প্রযুক্ত হয়? ইহার কারণ, নীচের মুখের সমান প্রস্থচ্ছেদের একটি বেলন যদি অঙ্কিত করা যায়, তবে A-তে যে জল আছে তাহার এই অংশের ওজন নীচের চাকতির উপর প্রযুক্ত হয়, আর বাকী জল আছে কাঁচ নলের বাঁকান দেওয়ালের উপর। ফলে এই শেষোক্ত জলের ওজন তুলাযন্ত্রের চাকতির বদলে কাঁচনলের উপর, অর্থাৎ টেবিলের উপর নিম্নমুখী প্রযুক্ত হয়। আবার D-নলের জলের ওজন পুরাপুরি তুলাযন্ত্রের চাকতির উপর প্রযুক্ত হয়; উহা আবার কাঁচনলের গাত্রেও পার্শ্বঘাত প্রয়োগ করে লম্বভাবে, অর্থাৎ সামান্য উর্ধ্বমুখী। ফলে ফ্রেম অথবা টেবিলের উপর যে ঘাত প্রযুক্ত হয় তাহা উর্ধ্বমুখী; আর কাঁচনলের গাত্র ঐ জলের উপর সমান প্রতিক্রিয়া প্রয়োগ করে। এই প্রতিক্রিয়া নিম্নমুখী এবং তুলাযন্ত্রের উপর ঘাত সৃষ্টি করে। সুতরাং যত জল আছে তাহার বেশী জলের ওজন—প্রকৃতপক্ষে, চাকতিকে ভূমি করিয়া একটি বেলন আঁকিলে ঐ বেলন-ভর্তি জলের ওজন তুলাযন্ত্রের চাকতির উপর প্রযুক্ত হয়। এখন ধীরভাবে চিন্তা করিলেই এই বিভ্রান্তির সম্পূর্ণ নিরসন হইবে।

97. তরলের মধ্য দিয়া চাপের সঞ্চালন (Transmission of Pressure through a Liquid): যদি কোন পাত্রে তরল রাখিয়া সব দিক বন্ধ করিয়া দেওয়া হয়, তবে তাহাকে বলা হয় **আবদ্ধ তরল** (confined liquid)। এই আবদ্ধ তরলের যে কোনও দিকে যদি চাপ বাহির হইতে প্রয়োগ করা হয়, তবে সেই নূতন চাপ সমভাবে আবদ্ধ তরলের সমস্ত অংশে ছড়াইয়া পড়ে। যে সূত্রানুযায়ী ইহা হয় তাহাকে বলে **প্যাস্কালের সূত্র** (Pascal's law)। ইহা এই—



চিত্র নং 105

কোন আবদ্ধ তরলের উপর যে কোনও স্থানে চাপ প্রয়োগ করিলে সেই চাপ তরলের ভিতর দিয়া কিছুমাত্র হ্রাস না পাইয়া সমভাবে চতুর্দিকে সঞ্চালিত হয় এবং কোন কঠিন পৃষ্ঠ থাকিলে তাহার উপর একই চাপ বা প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর একই বল হিসাবে অভিলম্ব বরাবর প্রযুক্ত হয়।

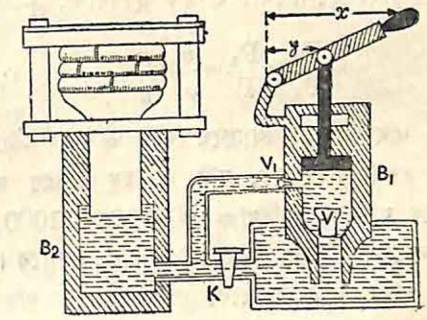
এই সূত্র বুঝিতে হইলে একটি গোলাকার ধাতুনির্মিত ফাঁপা পাত্র লও (চিত্র নং 105)। উহার পাঁচটি ছোট-বড় বৃত্তাকার ছিদ্র আছে। উহাদের ক্ষেত্রফল যথাক্রমে

a, b, c, d, e। তাহার মধ্যে চারিটিতে জল-নিরোধক পিস্টন লাগাইয়া পাত্রটি জলে ভর্তি কর। তাহার পর পঞ্চমটিতেও অনুরূপ পিস্টন লাগাও। এইবার প্রথম পিষ্টনটিতে F বল ভিতরমুখী প্রয়োগ কর। অমনি বাকী চারিটি পিস্টন বাহিরের দিকে আসিতে থাকিবে। উহাদের আটকাইতে প্রয়োজনীয় বল প্রয়োগ কর। ধর, F_1, F_2, F_3, F_4।

দেখা যাইবে $\frac{F}{a}=\frac{F_1}{b}=\frac{F_2}{c}=\frac{F_3}{d}=\frac{F_4}{e}$ ... ... (9·7·1)

সুতরাং যদি কোন ছিদ্র প্রথম ছিদ্রের দশগুণ ক্ষেত্রফলের হয়, তবে উহার উপর প্রযুক্ত বল F-এর দশগুণ হইবে। সুতরাং প্যাস্কালের সূত্র অনুযায়ী একস্থানে অল্প ক্ষেত্রফলের উপর অল্প বল প্রয়োগ করিয়া আর একস্থানে বেশী ক্ষেত্রফলের উপর বহুগুণ বর্ধিত বল সৃষ্টি করা যায়। এইজন্য এই সূত্র অনুযায়ী বহু যন্ত্র তৈয়ারী হইয়াছে এবং এইগুলি আমাদের ব্যবহারিক জীবনে বিশেষ তাৎপর্যপূর্ণ। কয়েকটির বিবরণ নীচে দেওয়া হইল

(i) **ঔদক চাপ যন্ত্র (Hydraulic Press):** চিত্র নং106-এ একটি ঔদক চাপযন্ত্র দেখান হইয়াছে। ডানদিকে একটি বড় জলের ট্যাংক। B_1 একটি দুই মুখ খোলা বেলনাকৃতি কক্ষ (chamber); উহার নীচের মুখ সরু হইয়া ট্যাংকে প্রবেশ করিয়াছে, আর মুখেই একটি ভাল্‌ভ্ (valve) V লাগান আছে। এই ভাল্‌ভ্ একটি কব্‌জা দেওয়া ছোট দরজা, যাহা একদিকে ঘুরিতে পারে। ইহা উপরে উঠিতে পারে, নীচে নামিতে পারে না, চাপ দিলে আঁটিয়া জল নিরোধকভাবে বন্ধ হইয়া যায়। B_1-এর উপরের মুখে একটি পিস্টন; ইহা তাহার উপরে একটি টিউবওয়েল পাম্পের সহিত



চিত্র নং 106

যুক্ত। B_1-এর বামপার্শ্বে একটি ছিদ্র; ইহা দ্বারা B_1 একটি বড় প্রস্থচ্ছেদের কক্ষের (B_2) সহিত পাইপ দ্বারা যুক্ত। মুখে আর একটি ভাল্‌ভ্ V_1 আছে; ইহা বামদিকে সরে, কিন্তু ডানদিকে সরিতে পারে না। B_2-র উপরমুখে একটি বড় চওড়া পিস্টন আছে। আর B_2 কক্ষ ট্যাংকের সহিত একটি ছোট পাইপ দ্বারা যুক্ত। এই পাইপে একটি কল K বসান আছে, খুলিয়া বা বন্ধ করিয়া B_2-র সহিত ট্যাংকের যোগাযোগ খোলা বা বন্ধ করা যায়; ইহা ভাল্‌ভ্ নয়। B_2-র উপরে যে বড় পিস্টন তাহার উপরে একটি ভারী লোহার পাত আছে, যাহাতে পিস্টনের উপর কোন বস্তু রাখিলে এবং পিস্টন উপরে উঠিতে থাকিলে বস্তুটি উভয় দিকে আটক হইয়া প্রচণ্ড চাপে পিষ্ট হইতে পারে।

টিউবওয়েল পাম্পের সাহায্যে ছোট পিস্টন উপরে তুলিলে জল ট্যাংক হইতে B_1-এ প্রবেশ করিবে। তাহার পর নামাইলে V বন্ধ হইবে। V_1 খুলিবে এবং সমস্ত জল B_2-তে চলিয়া যাইবে। বার বার এইরূপ করিতে থাকিলে B_2 জলে ভর্তি হইবে, বড় পিস্টন ক্রমেই উপরে উঠিবে এবং ঐ পিস্টনের উপর কোন পাটের গাঁট বা ঐ জাতীয় জিনিস রাখিলে তাহা দুইদিকে প্রচণ্ড বলে পিষ্ট হইবে।

এই যন্ত্রের সাহায্যে ক্ষুদ্র বল প্রয়োগ করিয়া বহু গুণ বড় বল পাওয়া যায়। এই সুবিধাকে বলে **যান্ত্রিক সুবিধা** (Mechanical Advantage)। ইহার পরিমাণ হইল, $\dfrac{\text{প্রাপ্ত বল}}{\text{প্রযুক্ত বল}}$।

তোমরা দশম শ্রেণীতে লিভার (Lever) সম্বন্ধে পড়িয়াছ। তাহাতে যান্ত্রিক সুবিধা হইল,

$$\frac{\text{বল প্রয়োগের বিন্দু হইতে ফাল্ক্রামের দূরত্ব}}{\text{প্রাপ্ত বলের বিন্দু হইতে ফাল্ক্রামের দূরত্ব}}।$$

ধর, চিত্র নং 106-এ প্রযুক্ত বল $=P$, তাহার ফলে ছোট পিস্টনে প্রাপ্ত বল $=P_1$, এবং বড় পিস্টনে প্রাপ্ত বল $=W$।

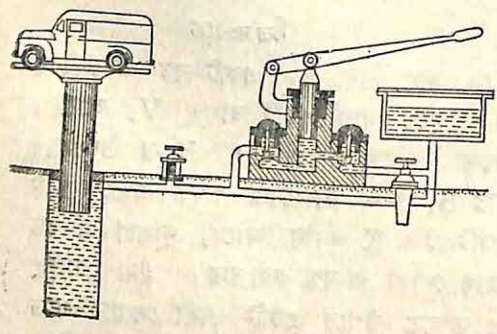
তাহা হইলে, মোট যান্ত্রিক সুবিধা $=\dfrac{W}{P}$

$$=\frac{W}{P_1}\times\frac{P_1}{P}=\frac{b}{a}\times\frac{x}{y} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9{\cdot}7{\cdot}2)$$

এখানে a, b যথাক্রমে ছোট ও বড় পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ।

দেখা যাইতেছে, যদি x হয় y-এর দশগুণ, আর b হয় a-র 100 গুণ, তবে যান্ত্রিক সুবিধা $=100\times10=1000$; অর্থাৎ একজন লোক হাজার জন লোকের মিলিত বল প্রয়োগ করিতে পারে।

তবে মনে রাখিবে, ছোট পিস্টন যদি 100 সে. মি. নামে তবে বড় পিস্টন 100 সে. মি. উঠিবে না, উঠিবে মাত্র 1 সে. মি.।


চিত্র নং 107

(ii) **ঔদক ব্রেক (Hydraulic Brake):** সাধারণতঃ মোটর গাড়ীতে ইহার ব্যবহার আছে। ছোট পিস্টন চালকের পায়ের পাশে থাকে, বড় পিস্টন চাকার পাশে ব্রেকের সহিত যুক্ত। সামান্য বল প্রয়োগেই ব্রেক প্রচণ্ড বলে কার্য করে।

(iii) **ঔদক লিফ্‌ট্ (Hydraulic Lift) :** মোটর মেরামতি কারখানায় ইহা গাড়ীকে তুলিতে ব্যবহার করা হয়। চিত্র নং 107 লক্ষ্য করিলেই ইহা কিভাবে কার্য করে তাহা বুঝিতে পারিবে।

উদাহরণ—প্রতি বাহু 20 সে. মি. বিশিষ্ট একটি নীরেট ঘনক একটি তরলে (আ. গুরুত্ব 1·2) খাড়াভাবে এমন ডুবান হইল যাহাতে উপরের তল মুক্ত তল হইতে 30 সে. মি. নীচে থাকে। সি.জি.এস (i) পরম এককে, (ii) অভিকর্ষজ এককে, ঘনকের প্রতি তলের উপর ঘাত বাহির কর। (বায়ুর চাপ নগণ্য বলিয়া ধর।)

মুক্ত তল হইতে উপরের তলের গভীরতা = 30 সে. মি.

∴ উহার উপর ঘাত $= Agph = (20 \times 20) \times 980 \times 1{\cdot}2 \times 30$

$= 1{\cdot}4112 \times 10^7$ ডাইন

$= 20 \times 20 \times 1{\cdot}2 \times 30$

$= 14400$ গ্রাম-ভার (gm.-wt)

নীচের তলের গভীরতা = 50 সে. মি. ;

∴ উহার উপর ঘাত $= (20 \times 20) \times 980 \times 1{\cdot}2 \times 50$

$= 352 \times 10^7$ ডাইন

$= (20 \times 20) \times 1{\cdot}2 \times 50$

$= 24000$ গ্রাম-ভার।

প্রতি খাড়া পৃষ্ঠের উপরের বাহুর গভীরতা = 30 সে. মি. ;

নীচের " " = 50 সে. মি. ;

∴ গড় গভীরতা = 40 সে. মি. ;

∴ প্রতি খাড়া পৃষ্ঠের উপর ঘাত $= (20 \times 20) \times 980 \times 1{\cdot}2 \times 40$

$= 1{\cdot}8816 \times 10^7$ ডাইন

$= (20 \times 20) \times 1{\cdot}2 \times 40$

$= 19200$ গ্রাম-ভার।

9·8. বায়ুর ওজন (Weight of Air) : পৃথিবীর উপরে বিরাট বায়ুর মণ্ডল। ইহা বর্ণহীন, চোখে দেখা যায় না। কিন্তু হাওয়া গায়ে লাগে এবং আমরা ইহার অস্তিত্ব বুঝিতে পারি। ইহার যে ওজন আছে তাহা শীঘ্র আমরা বুঝি না। বায়ুর যে ওজন আছে তাহা 1650 সালে **অটো ফন গেরিক** নামে একজন বিজ্ঞানী প্রথম প্রমাণ করেন। তাঁহার পরীক্ষা খুব সহজ—

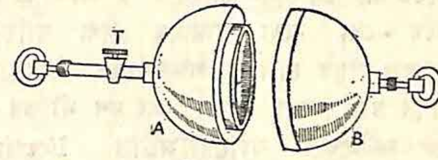
একটি বেশ বড় ফাঁপা কাঁচের গোলক (3-4 ইঞ্চি ব্যাস) লওয়া হইল। ইহার সহিত একটি ষ্টপকক সংযুক্ত আছে। ষ্টপককটি একটি রবারের নল দিয়া একটি শোষক পাম্পের সহিত সংযুক্ত করা হইল। এইবার ষ্টপককটি খুলিয়া কিছুক্ষণ পাম্পটি চালান হইল। কাঁচের গোলক হইতে বায়ু প্রায় নিঃশেষ হইয়া বাহির হইয়া গেল। এইবার ষ্টপকক বন্ধ করিয়া পাম্প বন্ধ করা হইল। গোলকটি একটি সাধারণ তুলাযন্ত্রের সাহায্যে এইবার ওজন করা হইল। এইবার ষ্টপকক আবার খোলা হইল এবং বায়ু প্রবেশ করিল। আবার গোলকটি ওজন করা হইল। দ্বিতীয় ওজনটি প্রথম ওজন অপেক্ষা বেশী। এই দুই ওজনের পার্থক্য গোলকের ভিতরের বায়ুর ওজন। ইহা হইতেই প্রমাণ হয় যে বায়ুর ওজন আছে।

দ্রষ্টব্য ঃ এই পরীক্ষালব্ধ ফল প্রণিধানযোগ্য। আপাত দৃষ্টিতে মনে হইবে, প্রথম ওজন হইতেছে গোলকটির খাঁটি ওজন, আর দ্বিতীয়টি গোলক ও বায়ুর মিলিত ওজন। কিন্তু তাহা নহে। দ্বিতীয় ওজন গোলকের প্রকৃত ওজন এবং প্রথম ওজন বায়ুতে নিমজ্জিত গোলকের আপাত ওজন। আর্কিমিডিসের সূত্র যেমন তরলে তেমনি বায়ুতে বা যে কোন গ্যাসে নিমজ্জিত বস্তুর ক্ষেত্রে সমভাবে প্রযোজ্য। গোলকের পদার্থের আয়তন ফাঁপা গোলকের মোট আয়তনের তুলনায় নগণ্য। দ্বিতীয় ওজনের সময় গোলক বায়ুতে ভর্তি। সুতরাং এই ওজন হইতেছে, **গোলকের + ভিতরের বায়ুর ওজন − গোলকের মোট প্লবতা।** এই প্লবতা হইতেছে অপসারিত বায়ুর ওজন, অর্থাৎ ভিতরের বায়ুর ওজনের সমান। সুতরাং দ্বিতীয় ওজন = কেবল গোলকের ওজন। প্রথম ওজনের সময় ভিতরে বায়ু না থাকায় উহার ওজন হইতেছে না, কিন্তু বাহিরে বায়ু থাকায় অপসারিত বায়ুর পরিমাণ একই আছে। সুতরাং প্রথম ওজন **কেবল গোলকের ওজন − প্লবতা (বা ভিতরের আয়তনের সমান আয়তনের বায়ুর ওজন)।** ফলে দ্বিতীয় ওজন হইতে প্রথম ওজন বিয়োগ করিলে বায়ুর ওজন পাওয়া যাইবে। কিন্তু কোন্ ওজন কিসের তাহা বুঝিয়া স্মরণ রাখিতে হইবে।

বায়ুর চাপ (Air Pressure): বায়ু (এবং যে কোন গ্যাস) এবং তরল, উভয়কেই বলা হয় **প্রবহণীল বস্তু** (Fluid); উভয়েরই নিজস্ব আকৃতি নাই। কিন্তু তরলের নিজস্ব আয়তন আছে; গ্যাসের তাহাও নাই। গ্যাস অত্যন্ত সংনমনীয়। চাপ বাড়াইলেই গ্যাস সংকুচিত হয় এবং উহার ঘনত্ব বৃদ্ধি পায়। পৃথিবীর উপর বায়ুমণ্ডল প্রায় 50 মাইল পর্যন্ত বিস্তৃত। যে কোনও ক্ষেত্রের উপর খাড়াভাবে অঙ্কিত বায়ুস্তম্ভের ওজন সেই ক্ষেত্রের উপর লম্বভাবে ঘাত সৃষ্টি করিবে। প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর এই ঘাতই হইল সংজ্ঞানুসারে বায়ুর চাপ। স্বভাবতঃই পৃথিবী পৃষ্ঠ হইতে যত উপরে যাওয়া যায় চাপ ততই কম (যেমন, তরলের ক্ষেত্রে)। আবার চাপ অনুসারেও বায়ুর ঘনত্ব। সুতরাং পৃথিবী পৃষ্ঠে বায়ুর চাপ ও ঘনত্ব সর্বাধিক; যত উপরে উঠা যায় ততই চাপ ও ঘনত্ব কমে। কিন্তু যে কোন স্থানে বায়ুর চাপ হইল ঐ স্থানে একক ক্ষেত্রফলের উপর বায়ুস্তম্ভের ওজনের সমান; ঘনত্ব হইল এই চাপের সমানুপাতিক। সেইজন্য পাহাড়ের উপর বায়ুর চাপ ও ঘনত্ব কম, নিঃশ্বাস লইতে অনেকের কষ্ট হয়।

মাগডেবুর্গ অর্ধ-গোলক পরীক্ষা (Magdeburg Hemispheres Experiment): বায়ুর যে চাপ আছে তাহা 1654 সালে অটো ফন গেরিক পিতলের অর্ধ-গোলকদ্বয়ের সাহায্যে অতি সুন্দরভাবে পরীক্ষা করিয়া দেখান (চিত্র নং 108)। দুইটি পিতলের অর্ধ-গোলক A, B। তাহাদের ধারগুলি এমন নিখুঁতভাবে তৈয়ারী যে একটি আর একটির সহিত মুখোমুখী ধরিলে একেবারে মিলিয়া যায় ও একটি ফাঁপা গোলকের সৃষ্টি করে। A-র সহিত একটি ষ্টপকক,

আর উভয়েরই একটি হাতল আছে। A ও B একসঙ্গে লাগাইয়া ষ্টপকক খুলিয়া শোষক পাম্পের সাহায্যে ভিতরের সমস্ত বায়ু বাহির করিয়া লওয়া হয়। তখন দুইদিকের হাতল কয়েকজন করিয়া লোক লাগাইয়া টানিলেও খোলা যায় না। তাহার কারণ বাহিরের বায়ু যে চাপ দেয়, ভিতরে কোন বায়ু না থাকায় তাহা কেহ প্রতিহত করে না। তাহার পর বায়ু প্রবেশ করাইলে A ও B সহজেই আলাদা করা যায়। ইহা হইতে বায়ু যে প্রচণ্ড চাপ দেয় তাহা প্রমাণিত হয়।



চিত্র নং 108

বায়ু চাপের অস্তিত্ব আরও নানাভাবে দেখান যায়। এক গ্লাস ভর্তি জলের উপর একটি পোস্টকার্ড সন্তর্পণে যদি রাখা হয়, যাহাতে দুইয়ের মধ্যে কোন ফাঁক না থাকে, তাহার পর গ্লাসটিকে যদি উল্টাইয়া দেওয়া হয়, তবে দেখা যায় জল পড়িতেছে না। এইরূপ অনেক পরীক্ষা দ্বারা বায়ুচাপের অস্তিত্ব জানা যায়।

9·9. বায়ুশূন্য নলের ভিতর তরলের উত্থান : তোমরা লক্ষ্য করিয়াছ, দুইমুখ খোলা একটি নলের একমুখ জলে ডুবাইয়া আর একমুখে বায়ু টানিলে জল নলের ভিতর উঠিতে থাকে। পিচ্‌কারীর মুখ জলে ডুবাইয়া অপরদিকে পিস্টন তুলিলে জল পিচকারীর মধ্যে উঠে। প্রথম প্রথম লোকের ধারণা ছিল, প্রকৃতি শূন্যতার বিরোধী। নলে শূন্যতা সৃষ্টি হওয়ায় নীচ হইতে জল উঠিয়া ঐ শূন্যতা পূরণ করে। কিন্তু দেখা গেল জল 34 ফুট পর্যন্ত এইভাবে উঠিতে পারে। তাহার পরেও যদি শূন্যতা থাকে তবে আর পূরণ হয় না। টরিসেলী (Torricelli) এ সম্বন্ধে সঠিক চিন্তা-ভাবনা করেন। তিনি বলেন জলের এই উত্থান বাহিরের বায়ু চাপের জন্য ; এবং জলের বদলে কোন ভারী তরল লইলে তাহা সেই অনুপাতে কম উচ্চতা পর্যন্ত উঠে। এ সম্বন্ধে তিনি পরীক্ষা আরম্ভ করেন—তাহাই টরিসেলীর পরীক্ষা নামে খ্যাত।



চিত্র নং 109

টরিসেলীর পরীক্ষা (চিত্র নং 109) : একটি প্রায় 1 মিটার দীর্ঘ মোটা কাঁচের নল (একদিকে বন্ধ) লইয়া বিশুদ্ধ শুষ্ক পারদ দিয়া একেবারে কানায় কানায় ভর্তি করা হইল, যেন ভিতরে কোন বায়ু বুদ্‌বুদ না থাকে। তাহার পর বুড়া আঙ্গুল দিয়া শক্ত করিয়া খোলা মুখের পারদের উপর চাপিয়া ধরা হইল যেন আঙ্গুল ও পারদের মধ্যে কোন ফাঁক না থাকে। তাহার পর নলটিকে উল্টাইয়া খোলামুখটি একটি পারদপূর্ণ পাত্রে পারদের মধ্যে ডুবাইয়া আঙ্গুল সরাইয়া লওয়া হইল। এইবার নলটিকে খাড়াভাবে রাখিয়া একটি

ক্ল্যাম্পের সহিত আটকাইয়া দেওয়া হইল। দেখা যাইবে, নলের ভিতরে পারদ সামান্য নামিয়া আসিয়া A স্তরে স্থির হইয়া আছে। পাত্রের পারদের লেভেল (level) হইতে মাপিলে দেখা যাইবে A-র উচ্চতা প্রায় 76 সে. মি.। যদি নলটি হেলান হয় তবে নলের মধ্যে পারদের দৈর্ঘ্য বাড়িবে, কিন্তু উচ্চতা একই থাকিবে। সুতরাং বায়ুর চাপ ঐ পারদস্তম্ভের উদ্‌স্থিতিক চাপের সমান হইবে। এইভাবে বায়ুর চাপ মাপা যায়। এই মূল নীতির উপর ভিত্তি করিয়া সূক্ষ্ম পরিমাপের জন্য **ফর্টিনের ব্যারোমিটার** (Fortin's Barometer) নির্মিত হইয়াছে (চিত্র নং 110)।

একেবারে নীচে পারদ-আধার। তাহাতে ব্যারোমিটার নলের খোলামুখ ডুবান। কাঁচের নল যাহাতে না ভাঙিয়া যায় সেজন্য সমস্ত জিনিসটা একটি ধাতুর মোটা নল দিয়া ঘেরা। উপরের দিকে একটু ফাঁক—তাহার মধ্য দিয়া পারদ স্তম্ভের উপরের তল দেখা যায়। সমস্ত জিনিসটি খাড়াভাবে একটি কাঠের বোর্ডের সহিত আটকান। যেহেতু পারদ স্তম্ভের উচ্চতা 76 সে. মি.-বিন্দুর কাছাকাছি হয়, সেজন্য সমস্ত স্কেল খোদাই করা হয় না। উহার শূন্য (Zero Point) একটি তীক্ষ্ন সূচক দিয়া চিহ্নিত করা হয়। স্কেলের 70 হইতে 90 সে. মি. পর্যন্ত খোদাই করা হয় এবং তাহার সহিত ভার্ণিয়ার যুক্ত থাকে। পারদ আধারটি একটি স্ক্রু দিয়া ওঠান-নামান যায়। প্রথমে আধারের পারদ লেভেল স্কেলের শূন্য চিহ্নের সঙ্গে মিলাইয়া পরে স্তম্ভের পারদ লেভেল স্কেলের সাহায্যে পাঠ লওয়া হয়। এইভাবে বায়ুচাপ বাহির করা হয় পারদ স্তম্ভের উচ্চতার মাধ্যমে।



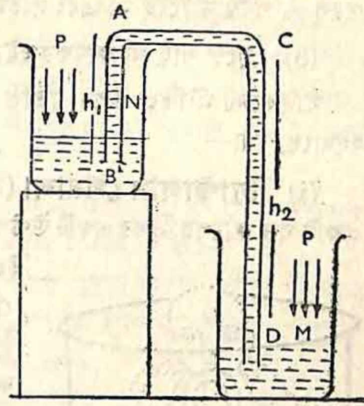
চিত্র নং 110

অন্যান্য ব্যারোমিটার : ফর্টিন ব্যারোমিটার ছাড়াও অন্যান্য ব্যারোমিটার আছে। একটি এ্যানিরয়ড ব্যারোমিটার (Aneroid Barometer); আর একটি সাইফন ব্যারোমিটার (Siphon Barometer)।

9·10. **সাইফন (Siphon) :** যখন এক পাত্র হইতে ঢালিয়া বা অন্য কোনও স্বাভাবিক উপায়ে তরল অন্য পাত্রে লওয়া যায় না তখন এই সাইফন যন্ত্রের সাহায্য লওয়া হয়। ইহা অতি সরল জিনিস, বায়ুর চাপে কার্য করে। কেবল যে পাত্রে তরল আনিতে হইবে তাহাকে প্রথম পাত্র অপেক্ষা কিছু নীচে রাখিতে হইবে (চিত্র নং 111)।

ইহা মুখ্যতঃ একটি যে কোনও পদার্থের U-নল, এক অঙ্গ আর এক অঙ্গ হইতে বেশ ছোট। অনুরূপভাবে বাঁকান রবার নল লইলেও চলিবে। প্রথমে নলটি বায়ুশূন্য করিতে হইবে। তাহার সর্বাপেক্ষা সহজ উপায় ঐ তরল দিয়া

নলটি ভর্তি করিয়া লও। এইবার দুই মুখ দুই আঙুলে আটকাইয়া নলটি উল্টাইয়া ছোট অঙ্গের মুখ B পাত্রে তরলের ভিতরে, আর অপর মুখ D পাত্রে তরলের ভিতর। D পাত্র খালি থাকিলেও চলিবে। এইবার আঙ্গুল দুইটি ছাড়িয়া দিলে আস্তে আস্তে B হইতে D-তে তরল চলিয়া আসিতে থাকিবে যতক্ষণ না B পাত্রে নলের মুখ হইতে তরল নীচে নামিয়া যায়। যদি ঐ মুখ B পাত্রের ভূমি পর্যন্ত গিয়া থাকে তবে B পাত্র হইতে তরল নিঃশেষে বাহির হইয়া যাইবে। যদি সাইফন আলাদা করিয়া তরলে ভর্তি করা এবং উল্টান না যায়, তবে নলের D পাত্রের মুখে মুখ দিয়া টানিয়া তরল দিয়া একবার ভর্তি করিলেই সাইফনের কার্য চলিতে থাকিবে। তরল আসিতে থাকিলে D পাত্রের তরলের পৃষ্ঠ উপরে উঠিতে থাকিবে, B পাত্রের তরলের পৃষ্ঠ নামিতে থাকিবে। যদি D-পাত্রের পৃষ্ঠ B-পাত্রের পৃষ্ঠের সহিত এক লেভেলে একবার আসে তবে তৎক্ষণাৎ সাইফনের কার্য বন্ধ হইয়া যাইবে।



চিত্র নং 111

কার্য নীতি ঃ মনে কর, সাইফনের একেবারে উপরে C ও A একই অনুভূমিক রেখায় অবস্থিত।

আর C ও D হইতে যথাক্রমে D ও B পৃষ্ঠের খাড়া দৈর্ঘ্য $= h_1, h_2$;

তরলের ঘনত্ব $= \rho$;

$\therefore$ C বিন্দুতে তরল যে চাপের সহিত উপরে উঠিতে চাহিবে

তাহা $= P - g\rho h_2$;

A বিন্দুতে তরল যে চাপের সহিত উপরে উঠিতে চাহিবে

তাহা $= P - g\rho h_1$ ।

যেহেতু $h_1 > h_2$ সুতরাং A-তে তরলের চাপ C-তে তরলের চাপ অপেক্ষা বেশী। তরল উচ্চচাপের স্থান হইতে নিম্নচাপের স্থানে আসিতে চাহিবে। সুতরাং B পাত্রের তরল D পাত্রে ক্রমাগত আসিতে থাকিবে। কিন্তু নলের ভিতরে একবার বায়ু ঢুকিলে কার্য বন্ধ হইয়া যাইবে।

কি কি অবস্থায় সাইফন কার্যকর হয় ?

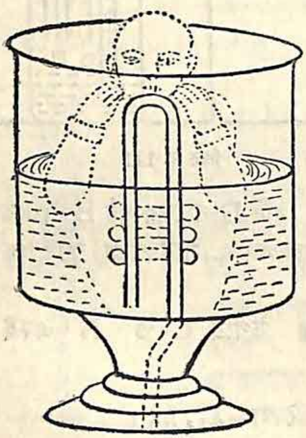
(1) B পাত্রের তরলের পৃষ্ঠ D পাত্রের তরলের পৃষ্ঠ হইতে উপরে থাকিতে হইবে। অর্থাৎ $h_1 > h_2$ যদি $h_1 = h_2$ হয়, তৎক্ষণাৎ C ও A-তে তরলের চাপ সমান হইবে, তরল আর আসিবে না।

(2) এই তরলের স্থানান্তর বায়ুর চাপের জন্যই হয়। সুতরাং h_1-কে ঐ তরলের ব্যারোমিটারের উচ্চতা অপেক্ষা কম হইতে হইবে। অন্যথা B পাত্রের তরল A পর্যন্ত উঠিবেই না এবং সাইফনও কার্যকর হইবে না।

(3) শূন্যে সাইফন কার্যকর হইবে না।

সাইফনের নীতির উপর ভিত্তি করিয়া ছোটখাট উপকারী অনেক যন্ত্র তৈয়ারী হইয়াছে, যথা—

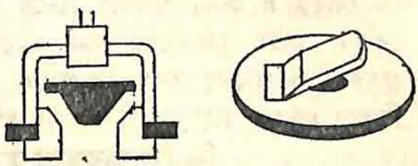
(i) **ট্যান্টালাস পেয়ালা** (চিত্র নং 112) : ইহা বিশেষ যন্ত্র নয়, খেলনা মাত্র। একটি বড় কাপের ভিতর একটি উল্টান U-নল বসান থাকে, দুইটি অঙ্গ একটু ছোট-বড়। ইহা একটি পুতুলের ভিতরে লুকান থাকে। U-নলের ছোট অঙ্গটির মুখ পেয়ালার ভূমি হইতে একটু উঁচুতে শেষ হইয়াছে, বড় অঙ্গটির মুখ ভূমি ফুটা করিয়া নীচে গিয়া শেষ হইয়াছে। আর U-নলের সর্বোচ্চ বিন্দু পুতুলের ওষ্ঠের ঠিক নীচে থাকে। পেয়ালায় জল ঢালিলে যত জল বাড়িতে থাকে ছোট অঙ্গে ততই জল উঠিতে থাকে, কিন্তু বড় অঙ্গে কোন জল যায় না। অবশেষে সর্বোচ্চ বিন্দুতে উঠিয়া জল U-নল বাহিয়া বড় অঙ্গ দিয়া পড়িতে থাকে। একবার জল পড়িতে থাকিলেই পেয়ালার জল সমস্ত নিঃশেষ হইয়া পড়িয়া যায়। তবে জল পড়া শেষ হয়।



চিত্র নং 112

স্বয়ংক্রিয় ফ্লাস (Automatic Flush) : ইহা বড় বড় শৌচাগারে ব্যবহার হয়। পুতুল বাদ দিলে ট্যান্টালাস কাপ যাহা, এই যন্ত্রটি তাহাই।

9·11. **ভাল্‌ভ ও পাম্প (Valves and Pumps) :** বায়ুর চাপের উপর নির্ভর করিয়া জলপাম্প ও বায়ুপাম্প তৈয়ারী হইয়াছে। এক কক্ষ হইতে আর এক কক্ষে বায়ুর চাপে বা বায়ু ও জলের চাপে বায়ু বা জল জোর করিয়া স্থানান্তরিত করাই এই সকল পাম্পের উদ্দেশ্য। দুই কক্ষের সংযোগ পথে এক রকমের কপাট লাগান থাকে, যাহা **একদিকে** খোলে। উহাদের বলে **ভাল্‌ভ**। অনেক রকমের ভালভের চলন আছে। তবে সর্বাধিক প্রচলিত দুই রকম (চিত্র নং 113)।



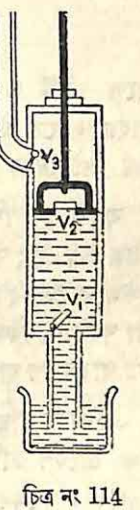
(i) চিত্র নং 113 (ii)

প্রথমটিতে দেখিতেছ, একটি ধাতুর প্লেট (প্রস্থচ্ছেদ উপর হইতে নীচে কম)। নীচ হইতে চাপ বেশী আসিলে প্লেটটি উপরে উঠিয়া রাস্তা ছাড়িয়া দিবে।

আর উপর হইতে বেশী চাপ আসিলে উহা ছিদ্রের উপর শক্ত করিয়া বায়ু বা জল নিরোধক হিসাবে আঁটিয়া ধরিবে। দ্বিতীয়টি একটি হালকা ধাতুর প্লেট, গোল মুখের একপ্রান্তে কবজা দিয়া লাগান। প্রথমটি খুলিতে বেশী বল লাগে; দ্বিতীয়টি হালকা, সামান্য বলেই খুলিয়া যায়। সেইজন্য দ্বিতীয়টি বায়ুশোষক পাম্পে ব্যবহার হয়, প্রথমটি জলপাম্পে ব্যবহার হয়। পেষক পাম্পে (Compression Pump) প্রথমটির একটি পরিবর্তিত সংস্করণ ব্যবহার হয়। উহাতে দরজার বদলে একটি ছোট গোলক ব্যবহার হয়।

9·12. লিফ্‌ট্ পাম্প (Lift Pump) (চিত্র নং 114): যে কোন উচ্চতায় জল তুলিবার জন্য এই পাম্প ব্যবহার করা হয়। ইহার বিবরণ এইরূপ—

একটি মজবুত লোহার ব্যারেলের নীচের মুখ সরু হইয়া একটি জলের ট্যাংকে প্রবেশ করিয়াছে। ব্যারেলের উপর দিকে একটি পিস্টন লাগান আছে। উহাকে একটি দণ্ডের সাহায্যে উঠান-নামান যায়। ব্যারেলের উপর দিকে এক পার্শ্বে একটি ছিদ্র করিয়া একটি লোহার নল লাগান থাকে। এই নলটি একটু বাঁকিয়া সোজা উপরে উঠিয়া গিয়াছে। ব্যারেলের নীচের মুখে, পিস্টনে ও বাঁকান নলের মুখে তিনটি ভাল্‌ভ্ যথাক্রমে V_1, V_2, V_3 লাগান থাকে। তিনটিই উপরের দিকে খোলে।



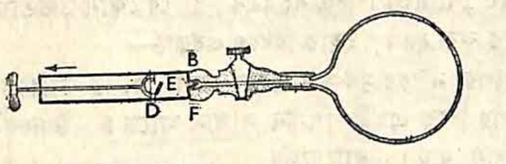
চিত্র নং 114

এই পাম্প চালাইতে প্রথমে পিস্টন একেবারে নীচে লইয়া আসা হয়। তাহার পর উহাকে তুলিলে ভ্যাকুয়াম সৃষ্টি হয়। V_1 খুলিয়া যায় ও ব্যারেল সম্পূর্ণ জলে ভর্তি হয়। তাহার পর পিস্টন আবার নামান হয়। তখন V_1 বন্ধ হয় এবং V_2 খুলিয়া যায়। ব্যারেলের জল যেমন তেমনি থাকে, আর পিস্টন উহার মধ্য দিয়া নীচে নামিয়া আসে। তাহার পর পিস্টনকে আবার উঠান হয়। যতক্ষণ উহা উপরে উঠিতে থাকে ততক্ষণ V_2 বন্ধ থাকে এবং V_1 খুলিয়া যায়। ফলে পিস্টন V_1-এর মধ্যবর্তী স্থান নূতন জলে ভর্তি হয়। আর পিস্টনের উপরের জল V_3 খুলিয়া পাইপ বাহিয়া উপরে উঠে। ক্রমাগত উঠান-নামানর ফলে যতবারই পিস্টন উপরে উঠে ততবারই জল V_3 ঠেলিয়া উপরে উঠে। কিন্তু এই জল নীচে নামিতে পারে না। কারণ, নামিতে গেলেই V_3 আটকাইয়া যায়। এইভাবে ধাপে ধাপে জল উপরে স্থানান্তরিত হয় এবং একবার উপরের নল ভর্তি হইলে ইহা সুশৃংখলভাবে কার্যকর হয়। কেবল অসুবিধা এই যে, পিস্টন উপরে উঠিবার সময়ই পাম্প কাজ করে, নীচে নামিবার সময় নয়।

এই পাম্প দিয়া জল যতদূর ইচ্ছা উঠান যায়, কিন্তু V_2 যেন নীচের ট্যাংক হইতে 34 ফুট অপেক্ষা কম উচ্চতায় থাকে। যদি উহা 34 ফুটের বেশী উচ্চতায় থাকে তবে

প্রতি 30 ফুট (বা আরও কিছু কম) আন্দাজ দূরত্বে একটি করিয়া V_1-এর অনুরূপ ভালভ্ রাখা প্রয়োজন।

9·13. **পেষক পাম্প (Compression Pump) :** কোন কক্ষে বায়ু চাপ অপেক্ষা অনেক বেশী চাপে বেশী বায়ু রক্ষণ যে যন্ত্রের সাহায্যে করা হয়, তাহাকে বলে **পেষক পাম্প** (চিত্র নং 115)। ইহার মুখ্য অংশ, একটি ব্যারেল; উহার ভিতরে একটি পিস্টন D বায়ু নিরোধকভাবে লাগান আছে। ইহাকে নড়াইবার জন্য একটি হাতল আছে। ব্যারেলের অপর প্রান্ত একটি ছিদ্রের মধ্য দিয়া এবং একটি ষ্টপককের মধ্য দিয়া যে কক্ষে বায়ু জোর করিয়া ঢুকাইতে হইবে তাহার সহিত যুক্ত। পিস্টনে ও ব্যারেলের অপর প্রান্তে দুইটি ভাল্ভ্ E ও F যুক্ত আছে। উভয়ে ভিতরের দিকে খোলে। ফলে বাহির হইতে উপযুক্ত অবস্থার সৃষ্টি হইলে বায়ু কক্ষের দিকে যাইতে পারে, কিন্তু উল্টাদিকে আসিতে পারে না।



চিত্র নং 115

কার্য : পিস্টনকে বাহির দিক্ হইতে ভিতর দিকে সরাইলে F খুলিয়া যায়, E বন্ধ হয়, এবং ব্যারেলের সমস্ত বায়ু জোর করিয়া কক্ষে প্রবেশ করে। তাহার পর পিস্টনকে ভিতর হইতে বাহির দিকে সরাইলে ঐ প্রবিষ্ট বায়ু আবার ব্যারেলে আসিতে চেষ্টা করিবে, কিন্তু উচ্চচাপের জন্য F বন্ধ হইয়া যাইবে। সঙ্গে সঙ্গে E খুলিয়া যাইবে, আর বায়ুচাপে বায়ু আসিয়া ব্যারেল ভর্তি করিবে।

এইভাবে বার বার পিস্টনকে সরাইলে প্রতি ভিতরমুখী অপসারণে কিছু কিছু বায়ু কক্ষে প্রবেশ করিবে এবং কক্ষের চাপ বাড়িবে। এইভাবে তত্ত্বগতভাবে (theoretically) কক্ষের চাপ সীমাহীনভাবে বাড়ান যায়। তবে ব্যবহারিক দিক্ হইতে তাহা সীমাহীন নয়। কারণ, ভিতরে চাপ যত বাড়িবে পিস্টনকে ভিতর দিকে নড়াইতে তত বেশী বল প্রয়োগ করিতে হইবে। আর কক্ষের চাপ খুব বাড়িলে কক্ষ ফাটিয়া যাওয়ার ভয় থাকে। অনেক সময় এই কারণে মারাত্মক দুর্ঘটনা ঘটে। পেষক পাম্পের সাধারণ সংস্করণ সাইকেল পাম্প। তোমরা সকলেই ইহার সহিত পরিচিত।

পেষণের পরিমাণ : ধর, কক্ষ ও যুক্তকারী নলের মোট আয়তন $= V$

পিস্টনের দুই শেষ অবস্থানের মধ্যবর্তী ব্যারেলের আয়তন $= v$

বায়ুচাপ $= P$

n-সংখ্যক ভিতরমুখী চালনের পর কক্ষের ভিতরের বায়ুর চাপ $= P_n$

প্রথম চালনের ফলে, P চাপে $(V+v)$ আয়তন বায়ু পিষ্ট হইয়া অধিকার করিবে V আয়তন, উহার চাপ P_1। সুতরাং বয়েলের সূত্রানুযায়ী (দশম শ্রেণীতে পড়িয়াছ),

$$P\ (V+v)=P_1V$$

$$\text{বা,}\quad P_1=\frac{V+v}{V}\ P=\left(1+\frac{v}{V}\right)P$$

দ্বিতীয় চালনের ফলে, P চাপে v আয়তন ও P_1 চাপে V আয়তন বায়ু পিষ্ট হইয়া, ধর P_2 চাপে V আয়তন অধিকার করিল।

$$\therefore\quad P_1v+P_1\ V=P_2V$$

$$\text{বা,}\quad Pv+\left(1+\frac{v}{V}\right)PV=P_2V$$

$$\text{বা,}\quad P_2=\left(1+\frac{2v}{V}\right)P$$

এইভাবে n-সংখ্যক অন্তর্মুখী চালনের পরে চাপ হইবে,

$$P_n=\left(1+n\frac{v}{V}\right)P$$

আর, কক্ষের মধ্যে বায়ুর নূতন ঘনত্ব হইবে,

$$P_n=\left(1+n\frac{v}{V}\right)P\quad \dots\quad \dots\ (9{\cdot}13{\cdot}1)$$

[এখানে P হইতেছে বায়ুমণ্ডলের চাপে বায়ুর ঘনত্ব]

প্রশ্নমালা

1. আর্কিমিডিসের নীতির বর্ণনা দাও। একটি পরীক্ষা দ্বারা এই নীতির সত্যতা প্রমাণ কর।

2. নিমজ্জিত বস্তুর উপর চাপ ও ঘাতের পার্থক্য বুঝাইয়া লেখ। তরলের সৃষ্ট চাপ যে চতুর্দিকে সমান তাহা একটি পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ কর।

3. একটি আংশিক নিমজ্জিত বস্তুর প্লবতা কেন্দ্র কাহাকে বলে? ঐ বস্তুটির আংশিক ভাসমান অবস্থায় ভারকেন্দ্র ও প্লবতা কেন্দ্রের সম্পর্ক কি? মেটাকেন্দ্র কাহাকে বলে?

4. কোন একটি চোঙের মধ্যে একটি তরল রক্ষিত আছে। ঐ তরল যে পার্শ্বচাপ দেয় তাহা একটি পরীক্ষা দ্বারা দেখাও।

5. কোন একটি তরলের গভীরে যে চাপ সৃষ্ট হয় তাহার একটি সমীকরণ দাও।

6. উদ্‌স্থিতি কূট কাহাকে বলে? এই কূটের একটা পরীক্ষা আলোচনা কর।

7. তরলের মাধ্যমে চাপ-সঞ্চালিত সূত্রটি লেখ। একটি পরীক্ষা দ্বারা এই সূত্রটির সত্যতা দেখাও।

8. ঔদক চাপ যন্ত্র কাহাকে বলে? এই যন্ত্রের বিবরণ দাও। ইহার যান্ত্রিক সুবিধা কি?

9. জলের মধ্যে 2 ফুট গভীরতায় যে চাপ বর্তমান, একটি কূপের ভূমির উপর চাপ তাহার চতুর্গুণ। যদি বায়ুর চাপ একটি 30 ফুট উচ্চ জলের স্তম্ভের চাপের সমান হয়, তবে কূপের জলের গভীরতা কত হইবে ?

[উত্তর :—98 ফুট।]

10. যুক্তপাত্রে একই তরল পদার্থ থাকিলে, সকল পাত্রে তাহার মুক্তপৃষ্ঠ একই অনুভূমিক তলে থাকিবে। এই যুক্তির অনুকূলে একটি পরীক্ষার বর্ণনা দাও।

11. একটি বোতলের ভূমি ও গলা উভয়েই গোলাকার। তাহাদের ব্যাস যথাক্রমে 3 এবং 1 সেন্টিমিটার। ইহাকে একটি তরলে সম্পূর্ণ ভর্তি করিয়া একটি কর্ক দিয়া মুখ বন্ধ করা হইল। কর্কের উপর একটি 1 কিলোগ্রাম ওজনের ভার রাখা হইল। বোতলের ভূমির উপর ঘাত কত হইবে ?

[উত্তর :—9 কিলোগ্রাম ভার।]

12. আবহমণ্ডলের বায়ুর যে চাপ আছে, তাহা একটি পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ কর।

13. বায়ুমান যন্ত্র কাহাকে বলে ? একটি ফর্টিন ব্যারোমিটার বর্ণনা কর। উহার ব্যবহারের তাৎপর্য কি ?

14. সাইফন্ কাহাকে বলে ? উহার কার্যনীতির বর্ণনা দাও। কি কি অবস্থায় সাইফন্ কার্যকর হয় ?

15. পাম্পে ভাল্‌ভের কার্যকারিতা কি ? একটি লিফ্‌ট পাম্পের বর্ণনা দাও।

16. পেষক পাম্প কাহাকে বলে ? ইহার বর্ণনা দাও। n সংখ্যক বার পাম্পটি চালনা করিলে ধারকের মধ্যে চাপ কি পরিমাণ বাড়িবে ?

17. শোষক পাম্পের সাহায্যে 34 ফুটের বেশী উচ্চে জল তোলা সম্ভব নয় কেন ? কারণ দর্শাও এবং গাণিতিক হিসাব দেখাও।

18. একটি পেষক পাম্পের রিসিভারের আয়তন ব্যারেলের আয়তনের 25 গুণ। কত স্ট্রোকের ফলে রিসিভারের চাপ বায়ু চাপ হইতে 3 গুণ হইবে ?

[উত্তর :—50]

19. একটি সাধারণ পাম্পের মুখ একটি কূপের জলের 7 ফুট উপরে আছে। পাম্পের পিস্টনের ব্যাস 4 ইঞ্চি। পাম্প চালু থাকিলে পিস্টন দণ্ডের উপর কত বল কার্য করিতেছে ?

[উত্তর :—38·1 পাউণ্ড-ভার।]

20. যদি একটি পাম্পের দ্বারা 4 স্ট্রোকে চাপ কমিয়া বায়ুচাপের অর্ধেক হয়, তবে 6 স্ট্রোকে উহা কমিয়া কত ভগ্নাংশ হইবে ?

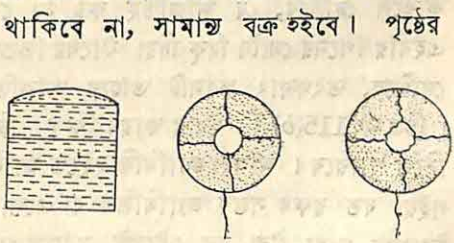
[উত্তর :—0·192]

দশম পরিচ্ছেদ
পৃষ্ঠটান ও সান্দ্রতা
(Surface Tension and Viscosity)

10·1. তরলের পৃষ্ঠটান (Surface Tension of a Liquid) ঃ তোমরা এ পর্যন্ত উদস্থিতিবিদ্যা প্রসঙ্গে পড়িয়াছ, কোন পাত্রে তরল রাখিলে তরলের মুক্ত পৃষ্ঠ সমতল ও অনুভূমিক হয়। ঐ পৃষ্ঠের উপর আরও কিছু তরল ঢালিলে ঐ নূতন তরল আগেকার তরলের গভীরতা বৃদ্ধি করে, কিন্তু পৃষ্ঠ সামান্য উপরে উঠিলেও একই রকম থাকে। পাত্র কানায় কানায় ভর্তি করিয়া আরও তরল ঢালিলে তাহা উপ্‌চাইয়া পড়িয়া যায়।

এইবার কয়েকটি পরীক্ষার বিবরণ পড় ; এগুলি তোমরা নিজেরাই করিতে পার, যথা—

(i) একটি পাত্রে অল্প জল ঢাল [চিত্র নং 115(a)] তাহার পৃষ্ঠ অনুভূমিক সমতল। অল্প অল্প করিয়া জল ঢালিতে থাক। দেখিবে, পৃষ্ঠ অনুভূমিক সমতলেই থাকিতেছে কিন্তু অল্প অল্প করিয়া উপরে উঠিতেছে। এইভাবে পাত্র কানায় কানায় ভর্তি হইল। এইবার **কয়েক ফোঁটা** জল উহার উপর ঢাল। দেখিবে, উহা গড়াইয়া পড়িয়া যাইবে না। পৃষ্ঠও অনুভূমিক সমতল থাকিবে না, সামান্য বক্র হইবে। পৃষ্ঠের কেন্দ্রবিন্দু পাত্র ছাড়িয়া উপরে উঠিবে। ফোঁটা ফোঁটা করিয়া যদি জল ঢালিতেই থাক কেন্দ্র আরও উঁচুতে উঠিবে, পৃষ্ঠ আরও বক্র হইবে **একটি সীমা পর্যন্ত**। তাহার পরও জল ঢালিলে সেই বাড়তি জল গড়াইয়া পড়িয়া যাইবে। তাহা হইলে তোমাদের মনে প্রশ্ন জাগিতে পারে, পাত্রের উপরে যে জলস্তম্ভ সৃষ্টি হইল তাহার চাপ কে সহ্য করিতেছে। এই চাপের দরুন উপরের বাড়তি জল কেন পড়িয়া যায় না ? কে তাহাকে আটকাইতেছে ? যুক্তিনিষ্ঠ মনে এ সম্বন্ধে চিন্তা করিলে ইহার উত্তর তোমরাই দিবে। ইহা হইল এই চাপ প্রতিহত করিতেছে ঐ তরলের পৃষ্ঠ, আর কেহ নহে। আর বেশী চাপ প্রতিহত করার সামর্থ্য অর্জন করিতেছে আরও বেশী বক্র হইয়া। যদি পাত্রের মুখ প্রথমেই একটি টানা দেওয়া রবার পাত দিয়া চারিদিকে বাঁধিয়া শক্ত করিয়া বন্ধ করা হইত এবং পাত্রের পাশে একটি ছিদ্র করিয়া তাহাতে নল লাগাইয়া জোর করিয়া জল ঐ পাত্রে প্রবেশ করান হইত তবে কি হইত ?



(a) (b) (c)

চিত্র নং 115

পাত্রের মধ্যে জলের পৃষ্ঠ সাধারণভাবেই উপরে উঠিত, রবার স্পর্শ করিত, তাহার পর নীচ হইতে রবার পর্দার উপর চাপ দিত। পর্দা ক্রমেই বেশী বক্র হইত এবং অবশেষে ফাটিয়া যাইত। রবার পর্দার আচরণ আর জল পৃষ্ঠের আচরণ একই হইত। রবার পর্দা যখন নীচ হইতে বেশী চাপ আসায় বক্র হইত, তখন রবার পর্দার প্রচেষ্টা হইত সমতল অবস্থায় আসা। তাহা হইলে, উপরের পরীক্ষা হইতে আমরা শিক্ষা গ্রহণ করিতে পারি যে জলের পৃষ্ঠ একটি টানের উপরে আছে এবং বাধ্য হইয়া বক্র হইলে উহা সমতল অবস্থায় আসিবার জন্য সচেষ্ট হয় ও বল প্রয়োগ করে ; সুবিধা পাইলেই উহা সমতল অবস্থায় চলিয়া আসে।

(ii) এইবার আর একটি পরীক্ষার বিবরণ দেওয়া যাক্। ইহাও তোমরা নিজেরাই করিতে পার।

একটি লোহার তারের আংটা (হাতল সহ) লও। একটি সরু সুতা দিয়া একটি ছোট ফাঁস (loop) তৈয়ারী কর। এইবার আংটার চার জায়গায় চারটি ছোট সুতা বাঁধ। সুতাগুলির অপর মুখ ফাঁসটির সহিত চার জায়গায় বাঁধিয়া দাও। তাহার পর একটি পাত্রে সাবান জল তৈয়ারী করিয়া তাহার মধ্যে আংটাটি ডুবাও এবং তুলিয়া অনুভূমিক করিয়া ধর [চিত্র নং 115(c)]। দেখিবে ফাঁসটি এলোমেলো (irregular) আকারের হইয়াছে। তাহার ভিতরে বাহিরে অবিচ্ছিন্ন সাবান জলের পর্দা। একটি পিনের তীক্ষ্ণ ডগা দিয়া সাবধানে ফাঁসের সুতাকে সরাইয়া নানারকম আকৃতিবিশিষ্ট করিলে দেখিবে, যে আকৃতিই কর না কেন, ফাঁসটি সেই আকৃতিতেই থাকিবে। এইবার পিনের মোটা দিক্ দিয়া ফাঁসের ভিতরকার সাবান জলের পর্দা ফাটাইয়া দাও। দেখিবে, তৎক্ষণাৎ ফাঁসটি তাহার আকৃতি ছাড়িয়া একটি সুন্দর বৃত্ত হইয়াছে। [চিত্র নং 115(b)]। ইহার কারণ কি ? চিন্তা করিয়া ইহার উত্তর তোমরা নিজেরাই দিতে পারিবে। আমরা জ্যামিতি হইতে জানি, একটি নির্দিষ্ট পরিসীমা (perimeter) লইয়া যত রকম সম্ভব জ্যামিতিক বা এলোমেলো ক্ষেত্র তৈয়ারী করা হউক না কেন, উহাদের মধ্যে উহা বৃত্ত হইলেই সর্বাপেক্ষা বেশী ক্ষেত্রফল অধিকার করে। দেখা যাইতেছে, পর্দা ফাটাইয়া দিলে পর্দাহীন স্থান **সম্ভাব্য সর্বাপেক্ষা বেশী** ক্ষেত্রফল অধিকার করে। অর্থাৎ পর্দাযুক্ত স্থান যতটা সম্ভব কম ক্ষেত্রফল অধিকার করে। সুতরাং প্রথম পরীক্ষায় দেখিয়াছ, তরল পৃষ্ঠ বক্র হইলে সমতল হইয়া কম স্থান অধিকার করিতে সচেষ্ট। এই দ্বিতীয় পরীক্ষা হইতে দেখিতেছ, সমতল হইলেও উহা নিশ্চেষ্ট নয়, উহা টানার উপর (under tension) থাকে, এবং আরও সংকুচিত হইবার জন্য সচেষ্ট হয়। উহা চিত্র নং 115(c)-এ আংটাকে ভিতরে টানিতেছে, কিন্তু শক্ত বলিয়া পারিতেছে না। সেই সঙ্গে উহা সুতাকে ভিতরে টানিতেছে, কিন্তু ফাঁসের সুতার দুই দিকেই তরল পৃষ্ঠ থাকায় দুই দিকের সমান টান পরস্পর সমতা রক্ষা করিতেছে। ফাঁসের সুতা যেমনই রাখা যায় উহা তেমনই থাকে। কিন্তু চিত্র নং 115(b)-এ ফাঁসের ভিতর তরল-পৃষ্ঠ শূন্য হওয়ায় বাহিরের দিকের টান কার্যকর হইতেছে, বিশেষতঃ সরু

সুতা বলিয়া। এই বহির্মুখী টানের জন্য পরিসীমার সুতা যতদূর সম্ভব বাহিরের দিকে চলিয়া আসে এবং বৃত্ত গঠন করে।

সুতরাং দেখা যাইতেছে যে প্রতি তরল পৃষ্ঠে একটি পৃষ্ঠটান আছে এবং এই টান পৃষ্ঠের প্রতি বিন্দুর সহিত পাশের প্রতি বিন্দুর মধ্যে কার্যকর হয়। **পৃষ্ঠের উপর যে কোনও রেখা টানিয়া ঐ রেখা বরাবর পৃষ্ঠকে ছিন্ন করিলে ঐ রেখা বরাবর রেখার লম্বদিকে পৃষ্ঠের সহিত সমান্তরাল একটি বল ক্রিয়া করিবে।** এই বলকে ঐ তরলের **পৃষ্ঠটান (Surface Tension)** বলে।

(iii) উপরের দুইটি পরীক্ষা হইতে যে সিদ্ধান্ত করা হইল তাহা সঠিক কিনা তাহা অন্য কোন পরীক্ষা দ্বারা যাচাই করা যাইতে পারে। তরলের যদি পৃষ্ঠটান থাকে এবং তরলপৃষ্ঠ যদি সর্বদাই সংকুচিত হওয়ার চেষ্টা করে, তাহা হইলে কোন তরলকে যদি সমস্ত বলমুক্ত করিয়া দেওয়া যায় তবে উহার পৃষ্ঠ সম্ভাব্য সর্বাপেক্ষা কম ক্ষেত্রফল অধিকার করিবে। জ্যামিতি হইতে আমরা জানি, কোন নির্দিষ্ট আয়তনের পদার্থকে যত রকম সম্ভব, জ্যামিতিক বা এলোমেলো আকৃতি দেওয়া হউক না কেন, উহা গোলকীয় (spherical) হইলেই উহার পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল সর্বাপেক্ষা কম হইবে। এখন, কিছু জল বা তরল শূন্যে ছুঁড়িয়া দিলে উহা পড়িবার সময় একটি গোলকের আকার লয়। টেবিলের উপর রাখিলে আর গোলক থাকে না, চেপ্টা হইয়া যায়। কারণ, অভিকর্ষের জন্য তরলের সমস্ত বিন্দুই নীচে আসিতে চায়। তরলের নীচের স্তরকে টেবিল বাধা দেয়, কিন্তু উপরের স্তর তাহার নীচের স্তরের উপর চাপ দেওয়াতে (আর, নীচের স্তর বাধা দিতে না পারাতে) সমস্ত তরল ছড়াইয়া পড়ে, গোলকীয় আকার থাকিতে পারে না। কিন্তু শূন্যে সমস্ত স্তরই একসঙ্গে পড়ে। কেহ কাহারও উপর চাপ দেয় না। কেবল পৃষ্ঠটান কার্য করে এবং তরল খণ্ড গোলকীয় আকার ধারণ করে।

(iv) ওজনের ক্রিয়া এড়াইতে পারিলে সব তরলই গোলকীয় আকার প্রাপ্ত হয়। জলপাইয়ের তেলের ঘনত্ব জল ও কোহলের (alcohol) মাঝামাঝি। সেজন্য জল ও কোহলের এমন মিশ্রণ যদি তৈয়ারী করা হয়, যাহার ঘনত্ব জলপাইয়ের তেলের সমান তবে সেই মিশ্রণে সামান্য জলপাইয়ের তেল ফেলিলে উহা গোলকীয় আকার পাইবে। কারণ জলপাইয়ের তেলের ওজন ও ঐ মিশ্রণে উহার প্লবতা সমান এবং জলপাইয়ের তেলের আপাত ওজন শূন্য হইবে।

সীসার গুলি প্রস্তুত করিতে গলান সীসা একটি ছাঁকনির ভিতর দিয়া জলে ফেলা হয়। পৃষ্ঠটানের জন্য তরল সীসা গোলকীয় হয় এবং জলে পড়া মাত্র জমিয়া কঠিন হয়।

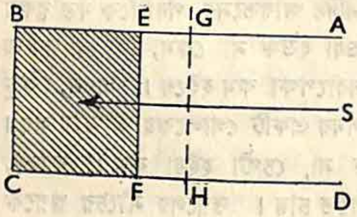
(v) 2 বা 3 পয়সার মুদ্রা হালকা এ্যালুমিনিয়ামের তৈয়ারী। ইহা জল অপেক্ষা ভারী, কিন্তু উহার ভরের তুলনায় বাহিরের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বেশী। সেইজন্য সাবধানে এক গ্লাস জলে উহা অনুভূমিক করিয়া ছাড়িয়া দিলে জল অপেক্ষা ভারী হইলেও ভাসে। উহা জলের পৃষ্ঠ ভেদ করিয়া নামিতে চায়, কিন্তু তাহার ফলে পৃষ্ঠ বক্র হয় এবং নামিতে বাধা দেয়। ফলে ভারী হইয়াও উহা জলে ভাসে।

(vi) কর্পূরের ছোট ছোট টুকরা পরিষ্কার জলে ফেলিয়া দিলে উহারা

এলোমেলোভাবে জলের উপর ছুটাছুটি করে। কারণ, টুকরার কোণগুলিতে কর্পূর তাড়াতাড়ি গলে, এবং ঐ স্থানে জলের পৃষ্ঠটান কমিয়া যায়। ইহাতে টুকরার চারি পার্শ্বে কোথাও বেশী কোথাও কম পৃষ্ঠটান থাকায়, টুকরাটি এলোমেলোভাবে ছুটাছুটি করে।

পৃষ্ঠটানের মান : উপরে বলা হইয়াছে পৃষ্ঠটানের জন্য তরল পৃষ্ঠে একটি সরলরেখা টানিলে সেই রেখা বরাবর উহার দুই পার্শ্বের মধ্যে সরলরেখার লম্বদিকে প্রতি বিন্দুতে একটি বল পারস্পরিকভাবে ক্রিয়া করে। প্রতি একক দৈর্ঘ্যের উপর লম্বভাবে যে পরিমাণ বল ক্রিয়া করে, তাহাই তরলটির পৃষ্ঠটান। উষ্ণতার উপর পৃষ্ঠটানের মান নির্ভর করে। উষ্ণতা বাড়িলে পৃষ্ঠটান কমে।

(vii) আর একটি সুন্দর সহজ পরীক্ষার বিবরণ নীচে দেওয়া হইল। ইহা তোমরা নিজেরাই করিতে পার। একটি সরু লোহার তার দুই জায়গায় এক সমকোণে বাঁকাইয়া U আকৃতির কর এবং ঐ তারেরই একটি ছোট সরল খণ্ড লও, যথাক্রমে ABCD ও EF [চিত্র নং 116]। EF কে AB বা CD-র আড়াআড়িভাবে বসাইয়া সরু সুতা দিয়া AB ও CD-র সহিত বাঁধিয়া দাও। তাহার পর একটি পাত্রে সাবান জল প্রস্তত করিয়া আয়তাকার ফ্রেমটি উহাতে ডুবাইয়া আবার তোল এবং অনুভূমিকভাবে রাখ। EBCF একটি সূক্ষ্ম সাবান জলের পর্দা। এইবার E ও F-এ সুতার বাঁধন দুটি খুলিয়া দাও। দেখিবে EF-তারটি সমান্তরালভাবে BC-র দিকে সরিতেছে এবং তারটি খুব হালকা হইলে BC-র গায়ে আসিয়া পড়িবে। ইহাতে পরিষ্কার প্রমাণ হয়, সূক্ষ্ম পর্দা গঠন করিলে পৃষ্ঠটানের জন্য সব দিকে বল প্রয়োগ করিয়া সংকুচিত হইতে চাহিতেছে। EB, BC, CF দৃঢ় বলিয়া উহাদের কিছু হইতেছে না ; কিন্তু EF হালকা ও আলগা বলিয়া উহাকে পৃষ্ঠটানের জন্য তরল পর্দা টানিয়া লইয়া যাইতেছে।



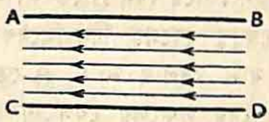
চিত্র নং 116

(viii) একটি পাত্রে সাবান জল তৈয়ারী করিয়া একটি সরু দুই মুখ খোলা নল ডুবাও। এইবার তোল, দেখিবে ডুবান মুখে সাবান জলের সূক্ষ্ম পর্দা গঠন হইয়াছে। এইবার অপর মুখে ফুঁ দিয়া বায়ু প্রবেশ করাও। পর্দাটি সমতল হইতে বক্র হইবে, তাহার পর বড় হইবে এবং অবশেষে একটি তরল পর্দার গোলক হইয়া ছুটিয়া যাইবে ও আকাশে উড়িতে থাকিবে। এই গোলক একটি রবারের বেলুনের ন্যায়। উহার দেওয়াল তরলের এবং উহার স্থায়ীত্ব তরলের পৃষ্ঠটানের জন্যই সম্ভব হইয়াছে।

কয়েকটি তরলের পৃষ্ঠটানের মান নিম্নে দেওয়া হইল—

তরল	পৃষ্ঠটান
জল	70-74 ডাইন/সে. মি.
পারদ	520-540 ডাইন/সে. মি.
সাবান জল	30-32 ডাইন/সে. মি.

10·2. তরলের গতি (Motion of a Liquid) : কঠিন বা তরল অথবা গ্যাসীয়, যে কোন বস্তুর গতি হয় কোন বল বা টর্ক প্রয়োগের জন্য। কিন্তু গতি এক এক বস্তুর এক এক রকম। কঠিন বস্তুর গতি যেমনই হউক না কেন, উহার ভিন্ন ভিন্ন কণার পারস্পরিক অবস্থান একই থাকে, বদলায় না। কিন্তু তরল বা গ্যাসীয় বস্তুর কণাগুলি দৃঢ়ভাবে সংযুক্ত নয়। সেজন্য কঠিন বস্তুর গতির তুলনায় তরল ও গ্যাসীয় বস্তুর গতির আলোচনা অপেক্ষাকৃত জটিল। তরল (এবং গ্যাসীয়) বস্তুর গতিকে সেজন্য বলে **প্রবাহ** (flow)। এই প্রবাহ দুই রকমের হয় : (i) **শান্ত** (stream line) ও (ii) **অশান্ত** (turbulent)।

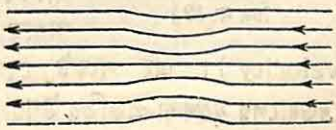


চিত্র নং 117

(i) **শান্ত প্রবাহ :** চিত্র নং 117-তে একটি সমপ্রস্থচ্ছেদের কাঁচের নল, ডানদিক হইতে অধিক চাপে একটি তরল (ধর জল) ঢুকিয়া বামদিকে বাহির হইয়া যাইতেছে। এইবার, যে জলের প্রবাহ হইতেছে তাহাতে অতি মিহি এ্যালুমিনিয়াম গুঁড়া মিশাইয়া দেওয়া হইল। ফলে নলের মধ্যে জলকণার সহিত এ্যালুমিনিয়াম কণা একসঙ্গে চলিতে থাকিবে। বাহির হইতে আলো পড়ায় উহা চিক্‌চিক্ করিবে। তখন নলের ভিতরের দৃশ্য চিত্র 117-এর ফুটকি দেওয়া রেখাগুলির মত হইবে। দেখা যাইবে, কতকগুলি সমান্তরাল রেখা নলের দৈর্ঘ্য বরাবর প্রতিষ্ঠিত হইয়াছে। দেখা যাইবে, রেখাগুলি স্থায়ী, সময়ের সহিত উহাদের কাহারও কোন পরিবর্তন হইতেছে না। এইরূপ প্রবাহকে বলে **শান্ত প্রবাহ** (stream-line flow) এবং প্রতি রেখাকে বলে **শান্ত প্রবাহ রেখা** (stream line)[চিত্র নং 117 দ্রষ্টব্য]।



চিত্র নং 118


চিত্র নং 119

যদি নলটি সম প্রস্থচ্ছেদের না হয়, মধ্যখানে মোটা বা সরু হয় [চিত্র নং 118, 119] তাহা হইলেও, যদি বেগ কম হয় তবে প্রবাহ রেখাগুলি স্থায়ী অপরিবর্তনীয় হইবে। তাহারা সমান্তরাল হইবে না, নলের গাত্রের অনুরূপ আকৃতির হইবে এবং প্রবাহ শান্ত হইবে।

এই প্রবাহের বৈশিষ্ট্য এই যে, প্রতি বিন্দু একটি শান্ত প্রবাহ রেখা অবলম্বন করিয়া চলে। কোন মুহূর্তে যে বিন্দু A-তে আছে [চিত্র নং 118] কিছুক্ষণ পরে তাহা B-তে আছে, আর কিছুক্ষণ পরে C-তে আছে। তাহার বেগও বদলাইতেছে এবং দিক্

ও মান উভয়ই। A-তে ঐ প্রবাহরেখার একটি স্পর্শক আঁকিলে সেই স্পর্শকের দিক্ হইবে A-বিন্দুতে যে তরল কণা আছে তাহার বেগের দিক্। ঐ তরল কণা কিছুক্ষণ পরে যখন B-তে আসিল তখন B-তে স্পর্শক ঐ কণার B-বিন্দুতে থাকিবার সময়কার বেগের দিক্-নির্দেশক। কিন্তু সময়ের সহিত কোন বিন্দুর বেগের দিক্ ও মান বদলায় না। A-তে অনবরত নূতন নূতন তরল বিন্দু আসিতেছে এবং তাহাদের সকলের বেগ একই (মান ও দিকে) থাকিতেছে। আর কোন দুইটি শান্ত প্রবাহ রেখা ছেদ করিবে না। কারণ ছেদ করিলে ঐ ছেদ বিন্দুতে যে কণা আসিবে তাহার কোন নির্দিষ্ট গতি (মান ও দিক্) থাকিতে পারে না। কোন বিন্দুতে বেগের মান কি হইবে তাহা নির্ভর করে ঐ বিন্দুর পাশের প্রবাহ রেখার ধরনের উপর। যেখানে প্রবাহ রেখাগুলি সমান্তরাল সেখানে সমবেগ; যেখানে রেখাগুলি কাছাকাছি আসিতেছে সেখানে বেগ বাড়িতেছে। আর যেখানে রেখাগুলি দূরে সরিয়া যাইতেছে সেখানে বেগ কমিতেছে। আর যেখানে রেখাগুলি ঘন সেখানে বেগের মান বেশী ইত্যাদি।

(ii) **অশান্ত প্রবাহ**ঃ শান্ত প্রবাহ কম ক্ষেত্রেই ঘটে। যদি প্রবাহের খাত সরু হয় এবং বেগ কম হয় তবেই শান্ত প্রবাহ ঘটে। যদি চিত্র নং 117-এর নলে জল প্রবেশ করাইবার চাপ ক্রমাগত বাড়ান হয় তবে বেগও বাড়িবে। হঠাৎ দেখা যাইবে এ্যালুমিনিয়াম গুঁড়ার প্রতিফলিত ছবি, যাহা দ্বারা শান্ত প্রবাহ রেখাগুলি দেখা যাইতেছিল, তাহা এলোমেলো হইয়া গিয়াছে এবং মুহূর্তে মুহূর্তে বদলাইতেছে [চিত্র নং 120]। এখন যে প্রবাহ সৃষ্টি হইল তাহা **অশান্তপ্রবাহ** (turbulent flow)। দেখা যাইবে, কোথাও কোথাও এ্যালুমিনিয়াম গুঁড়া ঘুরপাক খাইতেছে। ইহাকে বলে **ঘূর্ণি** (vortex)। প্রবাহের বেগ বাড়াইতে থাকিলে যে বেগ অতিক্রম করা মাত্র প্রবাহ শান্ত হইতে অশান্ত রূপ লয়, তাহাকে বলে **সংকট বেগ** (critical velocity)। এই সংকট বেগ তরলের প্রকৃতি, ঘনত্ব, প্রবাহ খাতের প্রস্থ, দেওয়ালের মসৃণতা প্রভৃতির উপর নির্ভর করে।



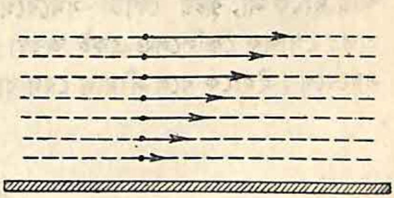
চিত্র নং 120

ঘূর্ণি প্রবাহ (Vortex Motion)ঃ ইহা অশান্ত প্রবাহের একটি বিশিষ্ট রূপ। তরলের বেগ যদি সংকট বেগ অপেক্ষা অনেক বেশী হয় তখন ঘূর্ণি দেখা দেয়। তরলের এক এক অংশ সরল বা বক্র অক্ষে ঘুরিতে থাকে। ঘূর্ণির সামনে লাঠি ডুবাইয়া বা অন্য কোনভাবে বাধার সৃষ্টি করিলে বাধার পিছনে ঘূর্ণি স্রোতের সঙ্গে চলিয়া যায়—বা চলমান ঘূর্ণির সৃষ্টি হয়। অশান্ত প্রবাহ, ঘূর্ণি প্রবাহ তরলে যেমন দেখান হইয়াছে, বায়ুতে সেইরকমই ঘটে। ঘূর্ণি বিমান চলাচলে বিঘ্ন সৃষ্টি করে। ছাদ হইতে কাগজের টুকরা ছাড়িয়া দিলে উহা সোজা পড়ে না, আঁকাবাকা পথে পড়ে। কারণ, বাধা দিলেই ঘূর্ণি স্থানচ্যুত হয় এবং স্থানচ্যুত হইবার সময় পার্শ্বচাপ দেয়। হাওয়ায় নিশান পত পত করিয়া উড়িবার কারণও ইহাই।

10.3. সান্দ্রতা (Viscosity) : তোমরা জান, কোন কঠিন পদার্থের উপর কোন বস্তুকে বল প্রয়োগ করিয়া সরাইতে গেলে, কঠিন স্তর ঘর্ষণ বল প্রয়োগ করিয়া উহাতে বাধা দেয় ; কিন্তু কোন তরল স্তরের উপর কোন বস্তুকে সরাইতে গেলে তরল স্তর বাধা দিতে পারে না। তরলের ধর্মই তাহা। কিন্তু ব্যবহারিক জগতে যত তরলের (তাহার সহিত গ্যাসের) সহিত আমরা পরিচিত, তাহাদের ব্যবহার উপরোক্ত ধর্মের সহিত পুরাপুরি মিলে না। তরল (এবং গ্যাসীয়) স্তর ঘর্ষণ বল প্রয়োগ করে, যদিও খুব সামান্য।

যখন কোন তরল প্রবাহিত হয়, তখন ভিন্ন ভিন্ন স্তর সংস্পর্শে থাকিলেও তাহারা আলাদা হইতে পারে। যদি পাশাপাশি দুইটি স্তরের মধ্যে আপেক্ষিক বেগ থাকে—অর্থাৎ এক স্তরের বেগ অন্য স্তরের বেগ অপেক্ষা বেশী হয়। তবে তাহাদের মধ্যে পারস্পরিক ঘর্ষণ বল ক্রিয়া করে। দ্রুততর স্তর মন্থরতর স্তরকে দ্রুততর করিতে চেষ্টা করে। আর মন্থরতর স্তর দ্রুততর স্তরকে মন্থর করিতে চেষ্টা করে। আর এই স্তরগুলি এই প্রচেষ্টা স্তরের সমান্তরাল দিকে, অর্থাৎ স্পর্শক বলের মাধ্যমে করে। যে ধর্ম অনুযায়ী তরল এই ধরনের ব্যবহার করে, তাহাকে বলে **সান্দ্রতা** (Viscosity)। এই সান্দ্রতা তরলের যেমন আছে, গ্যাসেরও সেই রকমই আছে। ইহা হইল **আন্তঃস্তর ঘর্ষণ** (interlayer friction)।

যখন কোন প্রবাহ খাতের মধ্য দিয়া তরল প্রবাহিত হয়, তখন কঠিন স্তরের সংস্পর্শে তরল স্তর (ধর, প্রথম স্তর) স্থির থাকে। দ্বিতীয় স্তর প্রথম স্তরের উপর দিয়া স্বল্পবেগে চলে। তৃতীয় স্তর দ্বিতীয় স্তরের উপর দিয়া স্বল্প আপেক্ষিক বেগে চলে। কিন্তু দ্বিতীয় স্তর নিজেই স্বল্পবেগে চলিতেছে বলিয়া তৃতীয় স্তর তাহা অপেক্ষা কিছু বেশী বেগে চলে। এইরূপে কঠিন স্তর হইতে অভিলম্ব দিকে যতই দূরে যাওয়া যায় ততই তরলের বেগ বাড়িতে থাকে। চিত্র নং 121 লক্ষ্য করিলে পরিষ্কার বুঝিতে পারিবে। কঠিন স্তরের সমান্তরাল দিকে তরলের বেগ কঠিন স্তরের অভিলম্বে দূরত্বের সহিত যে হারে বদলায় তাহাকে বলে **বেগের নতিমাত্রা** (Velocity gradient)। অবশ্য সব সময়েই ধরিতে হইবে শান্ত প্রবাহ ঘটিতেছে।



চিত্র নং 121

যদি কোন তরলের শান্ত প্রবাহে দুইটি পাশাপাশি স্তরের (প্রত্যেকটির ক্ষেত্রফল A) মধ্যে বেগের নতিমাত্রা হয় G এবং সান্দ্রতার জন্য তাহাদের মধ্যে উদ্ভূত স্পর্শক বলা হয় F, তবে,

$$F \propto A$$
$$\propto G$$
বা $$F = n. A. G.$$

এখানে n একটি ধ্রুবক ; ইহার মান তরলের প্রকৃতির উপর নির্ভর করিবে। এই ধ্রুবককে বলে ঐ তরলের (বা গ্যাসের) **সান্দ্রতাংক** (Coefficient of Viscosity)। সান্দ্রতাংক উষ্ণতার উপর খুব নির্ভর করে। উষ্ণতা বাড়িলে সান্দ্রতাংক কমিয়া যায়।

10·4. **সান্দ্রতার দৃষ্টান্ত ঃ** (i) জলে আলোড়ন সৃষ্টি করিয়া ছাড়িয়া দিলে কিছুক্ষণ পর আলোড়ন থামিয়া যায়। ইহা জলের সান্দ্রতার জন্যই হয়। একটি পাত্রে তৈল রাখিয়া পাত্রটিকে একবার নাড়াইয়া দিলে তৈল আলোড়িত হইয়া শীঘ্রই থামিয়া যায়। কিন্তু ঐ পাত্রেই জল বা কোহল রাখিয়া নাড়াইলে উহা বহুক্ষণ পরে শান্ত হয়। ইহার কারণ তৈলের সান্দ্রতা বেশী, কোহলের কম।

(ii) এক গ্লাস জলে কিছু হালকা কর্কের গুঁড়া ছড়াইয়া দাও। এইবার গ্লাসটি জোরে ঘোরাও। দেখিবে বাহিরের দিকে গুঁড়াগুলিও জোরে (অবশ্য গ্লাসের মত অত জোরে নয়) ঘুরিতেছে ; কিন্তু যতই ভিতরের দিকে (বা অক্ষের দিকে) তাকাইবে, দেখিবে গুঁড়াগুলি অতি সামান্যই ঘুরিতেছে। ইহার কারণ তরলের সান্দ্রতা। এখানে বেগের নতিমাত্রা **ঋণাত্মক** (negative) : কঠিন স্তর নিজেই গতিশীল, যত দূরে যাওয়া যায় স্তরের বেগ ক্রমেই কমে।

(iii) মেঘ হইতে বৃষ্টির ফোঁটা গঠন হইয়া উহা 980 সে. মি./সেকেণ্ড অভিকর্ষজ ত্বরণ সহ পড়িতে থাকে। যতই বেগ বাড়ে ততই বেগের নতিমাত্রা বাড়ে, তাহার সহিত বাতাসের সান্দ্রতার জন্য বাধা বাড়ে। এক সময়ে দুই-ই সমান হয় ; তখন ত্বরণ আর থাকে না, বৃষ্টির ফোঁটা সমবেগে পড়িতে থাকে। তৈলের গভীর পাত্রে ক্ষুদ্র ধাতুর গোলক ফেলিলেও একই অবস্থা ঘটে। কিছুদূর ত্বরণ সহ পড়িবার পর গোলক সমবেগে (ইহাকে বলে সীমান্ত বেগ বা terminal velocity) পড়িতে থাকে।

প্রশ্নমালা

1. তরলের পৃষ্ঠটান বলিতে কি বোঝায় ? ইহার কয়েকটি উদাহরণ দাও।
2. কর্পূরের একটি ছোট টুকরা পরিষ্কার জলে ফেলিয়া দিলে উপরিতলে ছুটাছুটি করে কেন, বুঝাইয়া লেখ।
3. পৃষ্ঠটানের মানের সংজ্ঞা দাও। সাবান জলে একটি খোলা নল ডুবাইয়া অপরদিকে ফুঁ দিলে সাবান জলের ফাঁপা গোলক তৈয়ারী হয় কেন ?
4. তরলের গতিতে শান্ত প্রবাহ কিভাবে পরীক্ষা করা যায় তাহার বর্ণনা দাও।
5. কি অবস্থায় তরলের গতিতে অশান্ত বা ঘূর্ণি প্রবাহ হয় তাহা বুঝাইয়া লেখ।
6. সান্দ্রতা কাহাকে বলে ? তরলের নিয়মিত সান্দ্রতা থাকিলে বিভিন্ন তরল স্তরের গতিপথ ও গতিবেগ কিভাবে উদ্ভূত হয় তাহার বিবরণ দাও।

তাপ-বিজ্ঞান
HEAT

প্রথম পরিচ্ছেদ

প্রাথমিক পর্যালোচনা

1·1. তাপের স্বরূপ (Nature of Heat) : তোমরা নবম শ্রেণীর পাঠ্যক্রমে পড়িয়াছ যে তাপ দ্বারা উপযুক্ত পরিবেশে কার্য করান সম্ভবপর, যেমন বাষ্প-চালিত এঞ্জিন। অপরপক্ষে ঘর্ষণ জাতীয় কার্য তাপে রূপান্তরিত করা যায়, যেমন দুইটি কঠিন বস্তুকে ঘর্ষণ করিলে উভয়েই গরম হইতে থাকে। তড়িৎ বাল্‌বের সুইচ্ দিলে প্রথমতঃ বাল্‌বের ভিতরের সূক্ষ্ম ফিলামেণ্ট (তার) উত্তপ্ত হইতে থাকে এবং এই উত্তাপই আলোক শক্তিতে পরিণত হয়। বন্দুকের গুলির খাপের মধ্যে বারুদ থাকে। যখন বন্দুকের নলের মধ্যে গুলি ভরিয়া ঘোড়াটি (trigger) টানা হয় তখন ঘোড়ার মুখ খাপের পিছনে আঘাত করিয়া একটি অগ্নি-স্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি করে এবং ঐ স্ফুলিঙ্গ অতি দাহ্য বারুদকে আগুন লাগাইয়া বিস্ফোরণ ঘটায়। এই বিস্ফোরণের শব্দশক্তি এবং গুলির গতিশক্তির উদ্ভবের কারণ বারুদের দহন-তাপ। সুতরাং এইসব উদাহরণ হইতে দেখা যাইতেছে যে, **তাপের দ্বারা কার্য করা সম্ভবপর এবং তাপ অন্যান্য শক্তিতে রূপান্তরিত হইতে পারে। সুতরাং তাপও একপ্রকার শক্তি।** বাস্তবে আমরা যত প্রকার শক্তিই ব্যবহার করি তাহাদের প্রধান উৎস তাপ শক্তি।

1·2. তাপের ক্রিয়া (Effects of Heat) : কোন বস্তুতে তাপ প্রয়োগ করার অর্থ তাহাকে গরম করিবার চেষ্টা এবং কোন বস্তু হইতে তাপ অপসারণ করার অর্থ তাহাকে ঠাণ্ডা করিবার চেষ্টা করা। এইরূপ কোন বস্তুতে তাপ প্রয়োগ বা অপসারণ করিলে নিম্নলিখিত কয়েকটি ক্রিয়া একক বা যৌথভাবে প্রকাশিত হয় :

(i) **তাপমাত্রার পরিবর্তন (Change of Temperature) :** কোন বস্তুকে তাপ দিলে উহা সাধারণতঃ গরম হইতে থাকে। অপরপক্ষে তাপ অপসারণ করিলে ঠাণ্ডা হইতে থাকে। এই অবস্থান্তরকে তাপমাত্রার (temperature) পরিবর্তন বলা হয়।

(ii) **অবস্থার পরিবর্তন (Change of State) :** কোন কোন ক্ষেত্রে তাপ প্রয়োগে তাপমাত্রার পরিবর্তন না হইয়া বস্তুর অবস্থার পরিবর্তন হয়। একই তাপমাত্রায় থাকিয়া কোন কঠিন বস্তু তাপ প্রয়োগের ফলে তরলে রূপান্তরিত হয় আবার কোন তরল বস্তু বাষ্পে পরিণত হয়। একক ভরবিশিষ্ট বস্তুকে এইরূপ অবস্থান্তর করিতে যতটা তাপ শক্তির প্রয়োজন, তাহাকে **লীনতাপ** বলে। লীন তাপের বিস্তারিত আলোচনা তৃতীয় পরিচ্ছেদে পাইবে।

(iii) **রাসায়নিক পরিবর্তন (Chemical Change) :** তাপ প্রয়োগে রাসায়নিক পরিবর্তনের খুব সাধারণ উদাহরণ কয়লা পোড়ান। কয়লা পোড়াইলে

কয়লার কার্বন মৌল বায়ুর অক্সিজেনের সঙ্গে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় জাতীয় দ্রব্যকে কার্বন ডাই-অক্সাইডে পরিণত হয়। পটাসিয়াম ক্লোরেট, কোন নাইট্রেট বা অক্সাইড উত্তপ্ত করিলে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অক্সিজেন নির্গত হয়।

(iv) **অন্যান্য শক্তির উদ্ভব** (**Generation of Various forms of Energy**)ঃ পূর্ব অনুচ্ছেদে বলা হইয়াছে তাপ শক্তি আলোক ও শব্দ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। দুইটি বিভিন্ন ধাতু, যেমন একটি লোহা ও অপরটি তামার তার মাথায় মাথায় যুক্ত করিয়া মাঝখানটায় ফাঁক করিয়া রাখা হয়। এমন যদি কোন একটি যুক্ত মাথা বুন্‌সেন দীপে গরম করা হয়, তবে ঐ তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হয়।

(v) **আয়তনের পরিবর্তন** (**Change of Length or Volume**)ঃ কোন একটি দণ্ডকে উত্তপ্ত করিলে তাহার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা বাড়িতে থাকে। কোন তরল বা গ্যাসীয় পদার্থকে উত্তাপ দিলে তাহার আয়তন বাড়ে।

1·3. তাপমাত্রা (Temperature)ঃ পূর্ব অনুচ্ছেদে বলা হইয়াছে যে কোন বস্তু তাপশক্তি গ্রহণ করিলে সাধারণতঃ গরম হয় আর তাপ বর্জন করিলে ঠাণ্ডা হয়। এই গরম অথবা ঠাণ্ডার অনুভূতি আমরা আঙ্গুল দ্বারা স্পর্শ করিয়া পাই, অর্থাৎ এই অনুভূতির ইন্দ্রিয় আমাদের ত্বক। এই গরম বা ঠাণ্ডার বৈজ্ঞানিক মাপকাঠিকে আমরা **তাপমাত্রা** বলি। যে বস্তু যত গরম, তাহার তাপমাত্রা তত বেশী। এক কেট্‌লি ফুটন্ত জল এক বালতি ঠাণ্ডা জলের সঙ্গে মিশাইলে কেট্‌লির গরম জল অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা হইবে, কিন্তু বালতির ঠাণ্ডা জলও খানিকটা গরম হইবে। সুতরাং বেশী উষ্ণ পদার্থ অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা পদার্থের সঙ্গে মিশাইলে উষ্ণতর পদার্থ হইতে তাপশক্তি ঠাণ্ডা পদার্থে যাইবে। যখন দুইটি একই রকম তাপীয় অবস্থায় আসিবে তখন আর পরস্পরের মধ্যে তাপ বিনিময় হইবে না। সুতরাং তাপমাত্রার সংজ্ঞা নিম্নলিখিতভাবে দেওয়া যায়ঃ

তাপমাত্রা বস্তুর এমন একটি উষ্ণতার অবস্থা, যাহা ঐ বস্তুটি অন্য কোন বস্তুর সংযোগে সেই বস্তু হইতে উহা তাপশক্তি গ্রহণ বা বর্জন করিবে, তাহা নির্দেশ করে। তাহা হইলে তাপশক্তি ও তাপমাত্রার প্রভেদ কি?

তাপশক্তি ও তাপমাত্রার প্রভেদ (**Distinction between Heat and Temperature**)ঃ নিম্নলিখিত কারণগুলির জন্য ইহারা এক নয়ঃ—

(1) কোন বস্তুর মধ্যে তাপ একটা শক্তিরূপের প্রকাশ কিন্তু তাপমাত্রা সেই বস্তুটির উষ্ণতা অথবা শীতলতার একটা মান।

(ii) কোন কঠিন বস্তু তাপশক্তি গ্রহণ করিলে সাধারণতঃ উহার তাপমাত্রা বাড়ে; অপরপক্ষে তাপশক্তি বর্জন করিলে উহার তাপমাত্রা কমে। কিন্তু বস্তুটি গরম হইতে হইতে যখন গলনাঙ্কে (Melting point) পৌঁছায়, তখন তাপশক্তি গ্রহণে

আর তাপমাত্রা বাড়ে না। তাপশক্তি তখন কঠিন বস্তুটির তরল হইবার অবস্থা পরিবর্তনে ব্যবহৃত হয়। কোন তরলের স্ফুটনের সময় এই রকম তাপশক্তি তাপমাত্রা না বাড়াইয়া বাষ্পীভবনের সহায়তা করে। সুতরাং সব সময়েই তাপশক্তি তাপমাত্রা বাড়ায় না।

(iii) দুইটি বস্তু একই তাপমাত্রায় থাকিলেও তাহাদের তাপশক্তি যে একই হইবে তাহার কোন ঠিক নাই। এক বালতি গরম জল হইতে এক বাটি জল আলাদা করিয়া নিলে, এই দুইটি তরলেরই তাপমাত্রা সাময়িকভাবে একই হইবে, যদিও এক বাটি জলে নিহিত তাপশক্তি হইতে বালতির জলের তাপশক্তি অনেক বেশী।

(iv) তাপশক্তির প্রবাহ শুধু তাপমাত্রার প্রভেদের উপরেই নির্ভর করে; বস্তু দুইটির অন্তর্নিহিত তাপশক্তির উপর নির্ভর করে না। উনুন হইতে একটি খুন্তি ডগ্‌ডগে লাল অবস্থায় তুলিয়া আনিয়া এক কড়াই ঠাণ্ডা জলে ডুবাইয়া দিলে খুন্তির তাপশক্তি জলে যাইয়া একই তাপমাত্রায় আসিবে। কিন্তু বিচারে কড়াইয়ের জলের তাপশক্তি খুন্তির তাপশক্তি হইতে বেশী।

(v) আমরা জানি তরলের প্রবাহ উদ্‌স্থিতিনীতি অনুসারে উচ্চচাপ হইতে নিম্নচাপের দিকে হয়। আবার কোন ধনাত্মক তড়িৎ প্রবাহ উচ্চ তড়িৎ বিভব হইতে নিম্ন বিভবের দিকে হয়। ঠিক সেই রকম তাপশক্তির প্রবাহও উচ্চ তাপমাত্রা হইতে নিম্ন তাপমাত্রার দিকে হয়। এখানে তাপবিদ্যার তাপমাত্রা উদ্‌স্থিতির তরলের চাপ অথবা তড়িৎ বিভবের সঙ্গে তুলনা করা যাইতে পারে।

(vi) তাপশক্তি মহাশূন্যে তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গাকারে প্রকাশমান কিন্তু বস্তু-বাস্তবের মধ্যে তাপ-তরঙ্গ প্রবেশ করিয়া অণু ও পরমাণুগুলির গতিশক্তি বাড়াইয়া দেয়। ফলে ইহাদের তাপমাত্রা বাড়ে। সুতরাং তাপমাত্রা মাপিতে হইলে কোন বস্তুর বা পদার্থের প্রয়োজন। অতএব কোন পদার্থে তাপশক্তির প্রকাশই ইহার তাপমাত্রা বলা যাইতে পারে।

1·4. তাপমাত্রার পরিমাপ (Measurement of Temperature): পূর্বেই বলা হইয়াছে যে স্পর্শেন্দ্রিয় দ্বারা আমরা তাপমাত্রার অনুভূতি পাই। যদি হাত দিয়া ছুঁইয়াই আমরা কোন বস্তুর তাপমাত্রা অনুভব করিবার চেষ্টা করি, তবে হাতের তাপমাত্রাই অন্য কোন বস্তুর তাপমাত্রা আমাদের উপলব্ধি করাইবে। কিন্তু এইভাবে তাপমাত্রা মাপিবার পদ্ধতি শুধু যে স্থূল তাহাই নহে, ইহা কখনও কখনও ভুল ও দৃষ্টিভ্রমের মত স্পর্শভ্রমও হয়। নিম্নলিখিত একটি সাধারণ পরীক্ষা দ্বারা এই স্পর্শভ্রমের সমর্থন পাওয়া যায়।

তিনটি পাত্রে জল লওয়া হইল। প্রথম পাত্রটিতে বরফ-মিশান জল, সুতরাং খুব ঠাণ্ডা। দ্বিতীয় পাত্রটিতে সাধারণ তাপমাত্রার জল, মনে কর কলের জল। তৃতীয় পাত্রটিতে উষ্ণ জল, এতটা উষ্ণ যাতে হাত দেওয়া যাইতে পারে। এইবার বাম হাতটি বরফ জলে এবং ডান হাতটি উষ্ণ জলে ডোবান হইল। দুই হাতে দুই রকমের তাপমাত্রার অনুভূতি হইল। এখন দুইটি হস্তই তুলিয়া আনিয়া দ্বিতীয় পাত্রটির

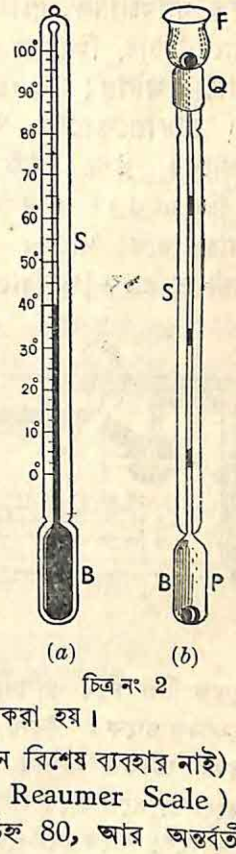
জলের মধ্যে ডোবান হইল। এখন মনে হইবে যে বাম হাতে গরম লাগিতেছে আর ডান হাতে ঠাণ্ডা লাগিতেছে, অথচ **একই তাপমাত্রার জলে কিন্তু দুইটি হাত ডোবান হইয়াছে**। সুতরাং তাপমাত্রার অনুভূতি এখানে বিরূপ প্রতিক্রিয়ার সৃষ্টি করিতেছে।

আর একটি পরীক্ষা করা হইতেছে। রাত্রের হিমে একখণ্ড কাঠ ও একটি লৌহখণ্ড পাশাপাশি রহিয়াছে। স্পর্শ করিলে লৌহখণ্ডকে বেশী ঠাণ্ডা মনে হইবে, যদিও একই আবহাওয়ায় তাহাদের পাশাপাশি থাকায় তাপমাত্রার কোন প্রভেদ হইবে না। এইসব পরীক্ষা হইতে আমরা নির্বিঘ্নে এই সিদ্ধান্তে আসিতে পারি যে **আমাদের শারীরিক স্পর্শ দ্বারা তাপমাত্রা পরিমাপ করিবার প্রচেষ্টা অত্যন্ত স্থূল এবং কোন কোন ক্ষেত্রে ভুল অনুভূতির সৃষ্টি করে**। সুতরাং যান্ত্রিক পদ্ধতির দ্বারা তাপমাত্রার পরিমাপ করিলে ত্রুটিবিহীন হইবে।

প্রশ্ন হইতেছে, তাপমাত্রা-পরিমাপক যন্ত্র কিভাবে তৈয়ারী করা যায়? ইহার সরল উত্তর এই যে, পদার্থের কতকগুলি ধর্ম আছে যাহা তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে আনুপাতিক-ভাবে পরিবর্তিত হয়। যেমন পূর্ব অনুচ্ছেদে পড়িয়াছ যে কোন পদার্থ—কঠিন, তরল অথবা গ্যাসীয় অবস্থায় উত্তপ্ত করিলে তাহার আয়তন তাপমাত্রার আনুপাতিক হারে বর্ধিত হয়। সুতরাং সেই পদার্থের আয়তন বৃদ্ধির পরিমাপ করিয়া একটি তাপমাত্রার স্কেল অংশাঙ্কিত করা যায়। আবার কোন ধাতব তারের কুণ্ডলীর (coil of wire) রোধ (resistance) তাহার তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। তাপমাত্রা বাড়াইলে রোধও বাড়িতে থাকে। প্ল্যাটিনাম ধাতুর গলনাঙ্ক খুব উর্ধ্ব তাপমাত্রায় থাকায় এবং রোধ-তাপমাত্রার একটা নিয়মানুগ সম্বন্ধ থাকায়, এই ধাতুর একটি তারের কুণ্ডলী রোধকে অবলম্বন করিয়া একটি তাপমাত্রার স্কেল তৈয়ারী করা যায়। এইরূপে দুইটি বিভিন্ন ধাতুর তারের দুই প্রান্ত সংযুক্ত করিয়া প্রান্ত দুইটিতে বিভিন্ন তাপমাত্রা সৃষ্টি করিলে দুই প্রান্তে একটি তড়িৎ-বিভব সৃষ্টি হয়, যাহার মান তাপমাত্রা প্রভেদের সঙ্গে পরিবর্তিত হয়। এই সমস্ত ধর্মের কোন একটি ব্যবহার করিয়া আমরা তাপমাত্রা সঠিকভাবে নির্ণয় করিতে পারি। এই তাপমাত্রা-পরিমাপক যন্ত্রকে **থার্মোমিটার** (Thermometer) বলে।

1·5. পারদ থার্মোমিটার (Mercury Thermometer)ঃ তাপমাত্রার পরিমাপের জন্য সর্বাধিক ব্যবহৃত হয় পারদ থার্মোমিটার। ইহার সম্বন্ধে তোমরা নবম শ্রেণীতে পড়িয়াছ। ইহা একটি অতি সূক্ষ্ম ব্যাসের রন্ধ্রবিশিষ্ট ঋজু কাঁচের নল, যাহার নীচের মুখে একটি চোঙাকৃতি কুণ্ড (bulb) আছে (চিত্র নং 122)। উপরের মুখে একটি ফানেল যুক্ত। অতি সূক্ষ্মরন্ধ্র বলিয়া ফানেলে পারদ ঢালিলে তাহা নামিবে না তখন কুণ্ডকে গরম করিলে পারদের মধ্য দিয়া কিছু আবদ্ধ বায়ু বাহির হইয়া যাইবে। এইবার ঠাণ্ডা করিলে কিছু পারদ নামিবে এবং কুণ্ডে আসিয়া জমিবে। এইরূপ বারে বারে গরম ও ঠাণ্ডা করিয়া কুণ্ড ও নলের সামান্য

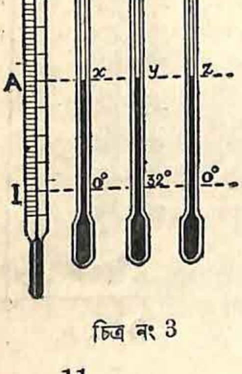
অংশ পারদে ভর্তি করা হয়। কাঁচ নলের দৈর্ঘ্য বরাবর তাপমাত্রার স্কেল অঙ্কিত থাকে (চিত্র নং 2*a*)। কুণ্ডের তাপমাত্রা বাড়িলে ভিতরের পারদও গরম হইতে থাকে এবং পারদের আয়তন **তাপমাত্রার আনুপাতিক হারে** বাড়িতে থাকে, এবং উহা রন্ধ্রের মধ্য দিয়া উপরে উঠিতে থাকে। সে কারণ যে বস্তুর তাপমাত্রা মাপিতে হইবে, তাহার সহিত কুণ্ডটির সুসংস্পর্শ ঘটাইলে কুণ্ড বস্তুর তাপমাত্রার সমান হইবে। সুতরাং পারদের শীর্ষ যে দাগ পর্যন্ত পৌঁছাইবে, তাহাই বস্তুর তাপমাত্রা নির্দেশ করিবে।



চিত্র নং 2

এই দাগের মান নির্দেশ করিবার জন্য নানা স্কেলের প্রচলন আছে। একটি **সেণ্টিগ্রেড** বা **সেল্‌সিয়াস স্কেল** (Centigrade বা Celsius Thermometer)। এই স্কেল অনুযায়ী দাগ কাটিতে হইলে কুণ্ডটিকে প্রথমে বরফে ডুবাইয়া পারদশীর্ষের অবস্থানে দাগ দেওয়া হয়। তাহার পর উহাকে একটি ফুটন্ত জলের হিপসোমিটারে ডুবাইয়া পারদশীর্ষের অবস্থানে দাগ দেওয়া হয়। তাহার পর এই দুই দাগের মধ্যেকার দূরত্বকে 100 সমান ভাগে ভাগ করিয়া চিহ্নিত করা হয়। এই দূরত্বকে বলে ঐ থার্মোমিটারের **প্রাথমিক অন্তর**। প্রথম চিহ্ন 0, পরে 1, 2 ··· করিয়া চিহ্ন করিয়া যাওয়া হয়। শেষ চিহ্ন হয় 100।

আর একটি প্রচলিত স্কেল হইল **ফারেনহাইট স্কেল** (Fahrenheit Scale)। তাহাতে হিমাংকের চিহ্ন 32, স্ফুটনাংকের চিহ্ন 212, আর অন্তর্বর্তী দৈর্ঘ্য 180 ভাগে ভাগ করা হয়।



চিত্র নং 3

আর একটি স্কেল আছে (এখন বিশেষ ব্যবহার নাই); উহার নাম **রিউমার স্কেল** (Reaumer Scale)। ইহাতে প্রথম চিহ্ন 0, শেষ চিহ্ন 80, আর অন্তর্বর্তী দৈর্ঘ্য 80 সমান ভাগে ভাগ করা হয়।

যে কোনও বস্তুর তাপমাত্রা তিনটি স্কেলের তিন রকম হইবে (চিত্র নং 3)। যদি কোন তাপমাত্রা সেলসিয়াস স্কেলে °C, ফারেনহাইট স্কেলে °F, আর রিউমার স্কেলে °R, হয়, তবে এই তিন অঙ্কের মধ্যেকার সম্পর্ক হইবে

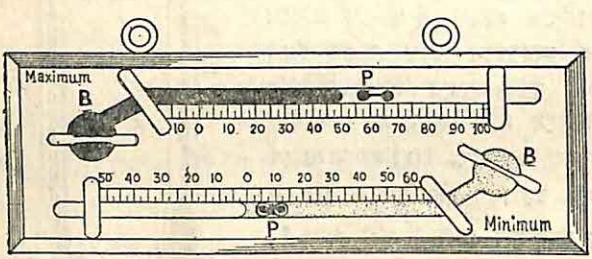
$$\frac{C}{100}=\frac{F-32}{180}=\frac{R}{80}$$

$$\text{বা, } \frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}=\frac{R}{4} \quad \cdots \quad \cdots \quad (1.5.1)$$

1·6. চরম ও অবম থার্মোমিটার (Maximum and Minimum Thermometer) (চিত্র নং 4)

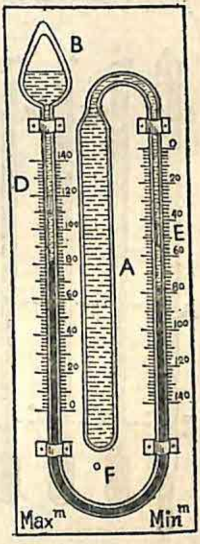
আগের অনুচ্ছেদে উল্লিখিত থার্মোমিটার দিয়া বস্তুর তাৎক্ষণিক তাপমাত্রা মাপা যায়। ঐ থার্মোমিটার দ্বারা একদিনে তাপমাত্রা উপরে কত উঠিয়াছিল এবং সর্বনিম্ন কত নামিয়াছিল তাহা জানা যায় না। তাহা জানিবার জন্য আছে রাদার ফোর্ড থার্মোমিটার, **সিক্সের থার্মোমিটার** (Six's Thermometer) ও **ডাক্তারী থার্মোমিটার** (Doctor's Thermometer)।

রাদারফোর্ডের অবম থার্মোমিটার ঃ—একটি কাঠের চৌকোনো ফলকের উপর দুইটি থার্মোমিটার অনুভূমিকভাবে আটকানো রহিয়াছে (চিত্র নং 4)। চরম থার্মোমিটারের বাল্‌ব্‌ B এবং নলের কিছুদূর পর্যন্ত তরল পারদ ভর্তি থাকে। পারদের শীর্ষদেশে একটি স্প্রীং দেওয়া ডাম্‌বেল আকৃতির লোহার স্চক P রহিয়াছে। যখন উষ্ণতা বাড়িতে থাকে, তখন পারদের আয়তন বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে স্চকটিকে পারদ ঠেলিয়া বাহিরের দিকে আনে। কিন্তু উষ্ণতা কমিলে পারদ যখন সংকুচিত হয়, তখন স্চকটি স্প্রীংএর জোরে সেই খানটাতেই থাকিয়া যায়। কাজেই স্চক চিহ্ন চরম তাপমাত্রা দেখায়। অবম থার্মোমিটারের বাল্‌ব্‌ ও নলের মধ্যে কোহল থাকে। উহার স্চক খড়ের নির্মিত এবং একটি হাল্কা স্প্রীং-ও লাগান আছে। এই স্চকটি কোহলের মধ্যে ভাসিতে থাকে। যখন উষ্ণতা কমিতে থাকে, তখন কোহলের সংকোচনে স্চকটি ক্রমশঃ বাল্‌বের দিকে সরিয়া আসে। কিন্তু যখন উষ্ণতা বাড়ে এবং কোহলের আয়তন বৃদ্ধি হয়, তখন স্চকটি তার আদি স্থানেই থাকিয়া যায়। এই ভাবে স্চক দুইটি কোন একটা পূর্ণদিনের চরম ও অবম তাপমাত্রা দেখায়। ঝাঁকাইয়া ঝাঁকাইয়া স্চক দুইটিকে স্থানান্তরিত করিতে হয়।



চিত্র নং 4

সিক্সের থার্মোমিটারঃ ইহা চিত্র নং 5-এ দেখিতেছ। একটি সমব্যাসের কাঁচের নল বাঁকাইয়া U-আকৃতির করা হইয়াছে। এক মুখে একটি বাল্‌ব্‌ (B) লাগান আছে। অপর মুখটি আবার বাঁকাইয়া উহার মুখে একটি চওড়া ফাঁপা সমব্যাসের লম্বা কাঁচের নল (A) লাগান। A-র অপর মুখ বন্ধ। A-কে কোহল



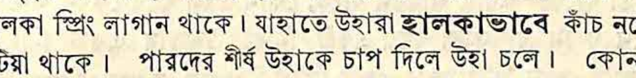
চিত্র নং 5

দিয়া ভর্তি করা হয়। এই কোহল E-র মাঝামাঝি পর্যন্ত আছে। তাহার পর আছে পারদ। এই পারদ বামদিকে D-র মাঝামাঝি পর্যন্ত আছে। এই পারদের উপর আবার কোহল। এই কোহল B-র মাঝামাঝি পর্যন্ত আছে। B-র উপরের অংশ ফাঁকা অবশ্য কিছু কোহলের বাষ্প আছে।

দুইদিকে দুইটি স্কেলে চিত্রে প্রদর্শিত মত চিহ্নিত থাকে। বামদিকেরটি উপর দিকে বাড়িতেছে, ডান দিকেরটি উপরের দিকে কমিতেছে। আর পারদের দুই দিকের শীর্ষের উপর দুইটি হালকা ইস্পাতের সূচক কোহলের মধ্যে দেওয়া থাকে। এই সূচক দুইটিতে হালকা স্প্রিং লাগান থাকে। যাহাতে উহারা **হালকাভাবে** কাঁচ নলের গাত্রের সহিত আঁটিয়া থাকে। পারদের শীর্ষ উহাকে চাপ দিলে উহা চলে। কোনমতেই উহা পারদের মধ্যে ডুবিয়া থাকিতে পারে না।

একটি চুম্বক দিয়া প্রথমে সূচক দুইটিকে টানিয়া নীচের প্রান্ত পারদের সহিত স্পর্শ করাইয়া ছাড়িয়া দেওয়া হয়। তাহার পর তাপমাত্রা বাড়িতে থাকিলে পারদের বাম শীর্ষ উপরে উঠে এবং ডান শীর্ষ নীচে নামে, ফলে বামদিকের সূচক উপরে উঠিতে থাকে। তাপমাত্রা চরমে উঠিবার পর যখন নামিতে থাকে, তখন বামদিকের সূচক চরম তাপমাত্রার দাগে পড়িয়া থাকে। ডানদিকের পারদশীর্ষ তখন উপরে উঠে—সূচকও তাহার সহিত উপরে উঠে। তাপমাত্রা অবমে নামিবার পর যখন উঠিতে থাকে, তখন ডানদিকের সূচক ঐখানেই পড়িয়া থাকে। থার্মোমিটার পরীক্ষা করিলে তাপমাত্রা চরম ও অবম কত হইয়াছিল তাহা সূচকদ্বয়ের অবস্থান হইতেই জানা যায়।

ডাক্তারী থার্মোমিটার : চিত্র নং 6-এ উহা দেখান হইয়াছে। সাধারণ



চিত্র নং 6

থার্মোমিটারের সহিত ইহার পার্থক্য এই, কুণ্ড (Bulb) হইতে কাঁচনলে ঢুকিবার মুখে একটি অতি সরু সূচীছিদ্র (Constriction) থাকে, ফলে তাপমাত্রা বাড়িবার সময় পারদ উহার মধ্য দিয়া জোর করিয়া চলিয়া যায়। কিন্তু তাপমাত্রা কমিলে সূচীছিদ্রের উপরের পারদ নামিতে পারে না। ফলে চরম তাপমাত্রার নির্দেশক দাগে পারদ শীর্ষ থাকিয়াই যায়।

প্রশ্নমালা

1. তাপের ক্রিয়া কত রকম হইতে পারে, তাহার বিবরণ দাও।
2. তাপশক্তি ও তাপমাত্রার প্রভেদ বুঝাইয়া লেখ।
3. একটি পারদ থার্মোমিটারের বিবরণ দাও। একটি থার্মোমিটারের স্থিরাঙ্ক বলিতে কি বোঝায়?
4. একটি থার্মোমিটারের হিমাঙ্কের চিহ্ন 20 এবং স্ফুটনাংকের চিহ্ন 150 ; 45° সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রায় এই থার্মোমিটার কি নির্দেশ দিবে?

[উত্তর : 78·5°]

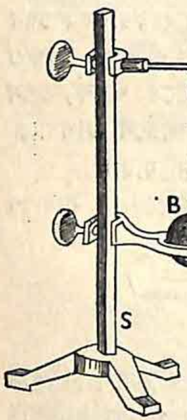
5. কোনও থার্মোমিটারের প্রাথমিক অন্তর কি? একটি পরীক্ষার বিবরণ দাও যদ্বারা উহা সূক্ষ্মভাবে বাহির করা যায়।
6. সিক্সের চরম ও অবম থার্মোমিটারের কার্যনীতি একটি পরিচ্ছন্ন চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও।
7. কোন্ তাপমাত্রায় সেন্টিগ্রেড অনুযায়ী মান ফারেনহাইট অনুযায়ী মানের অর্ধেক?

[উত্তর : 160° সেন্টিগ্রেড।)

কঠিন ও তরল পদার্থের তাপসংক্রান্ত প্রসারণ
(Thermal Expansions of Solids and Liquids)

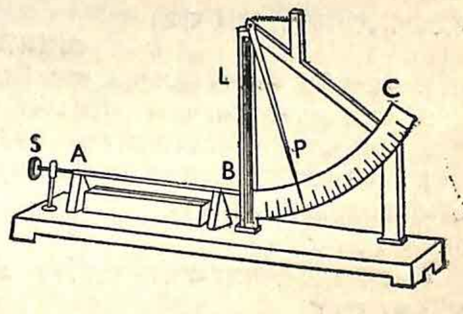
2.1. তাপ-সংক্রান্ত প্রসারণ (Thermal Expansion) : §1·2-এ তোমরা পড়িয়াছ, (i) যে কোন বস্তুকে (কঠিন, তরল বা গ্যাসীয়) উত্তাপ দিলে উহার তাপমাত্রা বা উষ্ণতা বাড়ে, আর (ii) উত্তাপ দিলে কোন কঠিন বস্তুর দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা বাড়ে—অর্থাৎ আয়তন বাড়ে, কোন তরল বস্তুর কেবল আয়তন বাড়ে। সুতরাং কোন কঠিন বা তরল বস্তুর একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় একটি নির্দিষ্ট আয়তন থাকিবে। আর কোন কঠিন বস্তুর একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় যে কোন দিকে একটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্য থাকিবে। এই তথ্যের উপর নির্ভর করিয়াই পারদ বা কোহল থার্মোমিটার দ্বারা উষ্ণতা পরিমাপ সম্ভব। এই প্রসারণ কয়েকটি সহজ পরীক্ষার দ্বারা দেখান যায়—

(i) **গ্রেভ্স্যাণ্ড রিং** (Gravesand Ring) : **পরীক্ষা**—একটি ধাতুর আংটা R একটি খাড়া ক্ল্যাম্পের সাহায্যে অনুভূমিক-ভাবে আটকান থাকে। আর উপরে একটি হুক হইতে একটি ধাতুর গোলক B ঝুলান থাকে। গোলকটি আংটার মধ্য দিয়া ঠিক গলিয়া যায়, কিন্তু ভিতরে কোন ফাঁক থাকে না (চিত্র 7)। এইবার গোলকটিকে আগুনে বেশ গরম করা হইল। তাহার পর উহা রিং-এর মধ্য দিয়া গলাইতে গেলে দেখা যাইবে, উহা গলিতেছে না। ইহা হইতেই বুঝা যায়, গরম করিবার ফলে গোলকটি বড় হইয়া গিয়াছে, কিন্তু আগেকার মতই গোলক আছে—অর্থাৎ উহা সামান্য বড় ব্যাসের গোলক হইয়াছে।



চিত্র নং 7

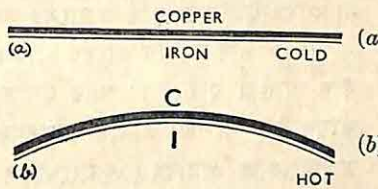
(ii) **সরল দণ্ডের প্রসারণ** (Expansion of a Rectilinear Rool) : এই প্রসারণ দেখাইবার ব্যবস্থা চিত্র-8-এ দেখান হইয়াছে। একটি সরল দণ্ড AB (প্রায় 1 হাতের মত লম্বা) অনুভূমিকভাবে দুইটি V-আকৃতির খাঁজের উপর বসান আছে। এক প্রান্ত A একটি দৃঢ় খাড়া দণ্ড দ্বারা আটকান। অপর প্রান্ত B একটি কৌণিক স্কেল C-র সহিত এমন ভাবে যুক্ত থাকে যে দৈর্ঘ্য প্রসারণ হইলে B সামান্য ডান দিকে গেলেই স্কেলের কাঁটা P কৌণিক স্কেল ধরিয়া ঘুরিতে পারে। এইবার



চিত্র নং 8

AB-কে একটি চওড়া জ্যাকেটের মধ্যে ভরিয়া জ্যাকেটের মধ্য দিয়া বাষ্প পাঠাইলে AB-র প্রসারণ ঘটে, আর কাঁটা P-র কৌণিক প্রসারণ হয়।

(iii) **দ্বিধাতু দণ্ডের প্রসারণ (Expansion of a Bimetallic Strip) :** কঠিন বস্তুর প্রসারণ আর একভাবে দেখান যায়। চিত্র নং 9 (*a*) দেখা যাইতেছে একই দৈর্ঘ্য ও আকারের দুইটি দণ্ড (একটি তামার ও একটি লোহার)। ঐ দুইটিতে পর পর কয়েকটি রিভেট করা হয়। এইবার গরম করিলে দেখা যায় দ্বিধাতু দণ্ডটি আর সোজা থাকে না, বাঁকিয়া চিত্র নং 9 (*b*)-এর আকৃতি নেয়। ইহার কারণ, উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি। একই উষ্ণতা বৃদ্ধিতে ভিন্ন ভিন্ন ধাতুদণ্ডের ভিন্ন ভিন্ন দৈর্ঘ্য প্রসারণ হয় ; তামার বেশী, লোহার কম। আলাদা থাকিলে তামার দণ্ডের প্রসারণ বেশী হইত এবং লোহার দণ্ডের প্রসারণ কিছু কম হইত। তাহারা আলাদা সরল দণ্ডই থাকিত। কিন্তু রিভেটের জন্য জোড়া থাকাতে একটি আর একটির উপর চাপ দেয়, ফলে কুন্তন সৃষ্টি হয় এবং মিশ্র ধাতুদণ্ডটি চিত্র নং 9 (*b*)-এর আকৃতি গ্রহণ করে। এই আকৃতি একটি বৃত্তচাপের আকৃতি। তামার প্রসারণ বেশী বলিয়া তামার দণ্ডটি বৃত্তচাপের বাহিরের দিকে থাকে। এই পরীক্ষা হইতে আর একটি জিনিস আমাদের নজরে আসে। একটি ধাতুর দণ্ডকে বাঁকাইতে যথেষ্ট বলের প্রয়োজন। উপরোক্ত দণ্ড যে আপনা-আপনি বাঁকিয়া গেল, তাহা হইতে বুঝা যায় যে তাপসংক্রান্ত প্রসারণে কোন বাধা আসিলে বস্তু ঐ বাধার উপর প্রচণ্ড বল প্রয়োগ করিয়া বাধা অপসারণ করিতে চেষ্টা করে। সুতরাং এই বল দণ্ডের স্থিতিস্থাপকতার জন্য সৃষ্ট হয়।



চিত্র নং 9

দৈনন্দিন জীবনে কঠিন পদার্থের প্রসারণের অনেক দৃষ্টান্ত আমাদের চোখে পড়ে, যথা—

(i) রেললাইনে কিছু পর পর একটি ছোট ফাঁক দেখা যায়। ইহার উদ্দেশ্য গরমকালে দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির সময় যেন কোন বাধা না থাকে। ঐ ফাঁক না থাকিলে রেল-লাইন বাড়িবার পথে বাধার সম্মুখীন হইত এবং বাঁকিয়া যাইত, সোজা লাইন থাকিত না।

(ii) গরুর গাড়ীর কাঠের চাকায় লোহার বলয় লাগান থাকে। ইহা কিভাবে লাগান হয় ? প্রথমে কাঠের চাকার পরিধি হইতে সামান্য ছোট করিয়া লোহার বলয় তৈয়ারী করা হয়। তাহার পর উহাকে এমনভাবে গরম করা হয়, যাহাতে উহা কাঠের চাকার অপেক্ষা সামান্য বড় হয়। তাহার পর উহাকে কাঠের চাকার উপর বসাইয়া ঠাণ্ডা করিতে দেওয়া হয়। ঠাণ্ডা হইলে উহা নিজের স্বাভাবিক ব্যাস গ্রহণ করিতে চেষ্টা করে কিন্তু পারে না, কারণ কাঠের চাকা বাধা দেয়। ফলে উহা কাঠের চাকার উপর ভীষণ জোরে আঁটিয়া যায় ; উহাকে তখন খোলাই দুষ্কর।

(iii) পুরু কাঁচের গেলাসে ফুটন্ত জল ঢালিলে গেলাস ফাটিয়া যাইতে পারে। কারণ, ফুটন্ত জলের সংস্পর্শে গেলাসের ভিতরকার পৃষ্ঠ প্রসারিত হইতে চায়, কিন্তু বাহিরের পৃষ্ঠ ঠাণ্ডা থাকায় উহা প্রসারিত হইতে চায় না। ফলে কৃন্তনের সৃষ্টি হয় এবং গেলাস অনেক ক্ষেত্রে ফাটিয়া যায়।

(iv) বরফ জলে ভাসে ; সুতরাং জল জমিলে প্রসারিত হয়। সুতরাং বেশী ঠাণ্ডা পড়িলে কলের পাইপের জল বরফে পরিণত হয়। প্রথমে মুখে পুরু করিয়া বরফ ভাসে। পরে ভিতরের জল বরফ হয় এবং প্রসারিত হয়। কিন্তু মুখে বরফ শক্ত হইয়া জমিয়া থাকায় ভিতরের জল প্রসারিত হইতে পারে না। প্রচণ্ড চাপ সৃষ্টি হয় এবং লোহার পাইপ অনেক সময় ফাটিয়া যায়।

(v) বড় বড় ইস্পাতের সেতুর দুই প্রান্ত ইটের গাঁথনিতে শক্ত করিয়া আটকান হয় না। একপ্রান্ত আটকান হয়, অপর প্রান্ত একটি ইস্পাতের রোলারের উপর বসান থাকে এবং শেষে সামান্য ফাঁক থাকে, যাহাতে ইটের গাঁথনিকে ক্ষতিগ্রস্ত না করিয়াই উষ্ণতা বৃদ্ধি ও হ্রাসের জন্য সেতু প্রসারিত ও সংকুচিত হইতে পারে।

(vi) যদি তামার তারের চারিপাশ কাঁচ দিয়া সীল করা হয়, তবে উষ্ণতা বাড়িলে কাঁচ ভাঙিয়া যাইবে। আর উষ্ণতা কমিলে তার আলগা হইয়া খুলিয়া যাইবে। কারণ কাঁচ অপেক্ষা তামার তাপসংক্রান্ত প্রসারণ বেশী। কিন্তু কাঁচ ও প্লাটিনামের তাপসংক্রান্ত প্রসারণ (ও সংকোচন) সমান বলিয়া কাঁচের ভিতর প্লাটিনাম তার সীল করিয়া রাখা যায়।

2·2. **কঠিন পদার্থের বিভিন্ন প্রসারণ গুণাংক (Co-efficients of Expansion of)a Solid) :** কোন কঠিন পদার্থকে গরম করিলে উহার আয়তন বাড়ে ; সুতরাং উহার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা এবং যে কোন দিকে অথবা উহার যে কোন দুইটি বিন্দুর মধ্যেকার দূরত্ব বাড়ে। কিন্তু উহার আকৃতি অক্ষুণ্ণ থাকে। সুতরাং উহার পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফলও সঙ্গে সঙ্গে বাড়ে। প্রথমে আমরা দৈর্ঘ্যের প্রসারণ আলোচনা করি।

দেখা যায়, দৈর্ঘ্যের প্রসারণ (i) **বস্তুর প্রাথমিক দৈর্ঘ্যের সহিত সমানুপাতিক,** (ii) **তাপমাত্রা বৃদ্ধির সহিত সমানুপাতিক এবং** (iii) **বস্তুর পদার্থের উপর নির্ভরশীল।**

ধর, 0° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় দৈর্ঘ্য $= l_o$ সে. মি., t° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় l_t সে. মি.,

$$\therefore \quad (l_t - l_o) \propto l_o$$
$$\propto t$$

বা, $(l_t - l_o) \propto l_o t$ বা, $\dfrac{l_t - l_o}{l_o t} =$ ধ্রুবক $= \alpha$ ... (2·2·1)

বা, $l_t = l_o(1 + \alpha t)$ ... ... (2·2·2)

এই ধ্রুবক α-র মান বস্তুর পদার্থের উপর নির্ভরশীল। ইহাকে বলে ঐ পদার্থের **দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক।**

দেখা যাইতেছে, $\frac{l_t - l_o}{l_o}$, দুইটি দৈর্ঘ্যের অনুপাত বা সংখ্যাবাচক রাশি। ইহার কোন একক নাই। কিন্তু $\frac{1}{t}$-র মান t-র মানের উপর নির্ভরশীল। সুতরাং α-র মান দৈর্ঘ্যের এককের উপর নির্ভর করে না, কিন্তু উষ্ণতার এককের উপর নির্ভর করে। $1°$ সেন্টিগ্রেড $= \frac{9°}{5}$ ফারেনহাইট। সুতরাং সেন্টিগ্রেড পদ্ধতিতে α-র মান হইবে, ফারেনহাইট পদ্ধতিতে তাহা কমিয়া $\frac{5}{9}$ অংশে দাঁড়াইবে। এদিকে, দৈর্ঘ্য সেন্টিমিটারে মাপিলে বা ফুটে মাপিলে α-র মান বদলাইবে না।

সূক্ষ্ম পরিমাপের ফলে দেখা যায়, কোন বস্তুকে $0°$ হইতে $1°$ সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় আনিলে যে দৈর্ঘ্য প্রসারণ হয়, $60°$ হইতে $61°$ সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় আনিলে তাহা অপেক্ষা বেশী হয়। সুতরাং কোন পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক উষ্ণতা অনুযায়ী কমবেশী হয়। কিন্তু এই কমবেশী কঠিন ও তরল পদার্থের বেলায় এতই সামান্য যে উহা না ধরিলেও চলে। গ্যাসীয় পদার্থের প্রসারণ অনেক বেশী। তখন প্রাথমিক উষ্ণতা কত তাহা বিবেচনা করিতে হয়।

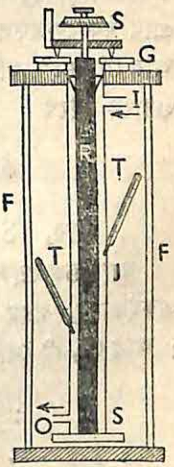
এই যুক্তির ভিত্তিতে যদি প্রাথমিক উষ্ণতা হয় t_1 অন্তিম উষ্ণতা t_2, আর দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l_1, l_2, তবে সমীকরণ (2·2·2)-কে লেখা যায়

$$l_2 = l_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad \ldots \quad \ldots \quad (2·2·3)$$

আর গুণাংকের সংজ্ঞা হইবে—কোন নির্দিষ্ট পদার্থের বস্তুর একক দৈর্ঘ্যের প্রতি একক উষ্ণতা বৃদ্ধিতে (সি. জি. এস অনুসারে $1°$ সেন্টিগ্রেড) যতটা দৈর্ঘ্য প্রসারণ হয় তাহাকে বলে ঐ পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক।

দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক নির্ণয়ঃ কোন কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক নির্ণয় করিতে ঐ পদার্থের সরল দণ্ড লইতে হয়। এই নির্ণয় সাধারণতঃ দুইটি পদ্ধতিতে করা হয়, **পুলিঞ্জার পদ্ধতি** (Pullinger's Method) ও **অণুবীক্ষণ পদ্ধতি** (Microscope Method)।

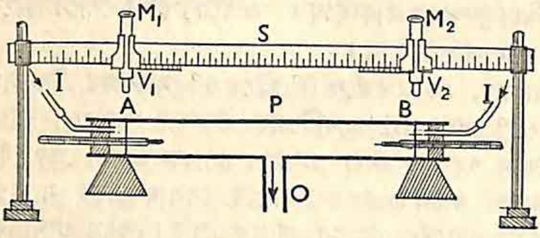
পুলিঞ্জার পদ্ধতি—এই যন্ত্রটি চিত্র-10-এ দেখান হইয়াছে। যে পদার্থের দৈর্ঘ্য গুণাংক বাহির করিতে হইবে, তাহা একটি খাড়া দণ্ডের (R) আকারে লওয়া হয়। উহাকে একটি বেলনাকার ফাঁপা জ্যাকেট (F) দিয়া ঢাকিয়া দেওয়া হয়। জ্যাকেটের উপরে একটি ফুটার মধ্য দিয়া R-এর উপর প্রান্ত একটু বাড়াইয়া থাকে। F-এ উপরে একটি স্ফেরোমিটার থাকে। স্ফেরোমিটারের মধ্যকার পারা R-এর উপর প্রান্তের উপর, আর বাহিরের তিন পায়া একটি কাঁচের প্লেটের উপর থাকে। কাঁচের প্লেটের মধ্যস্থানে একটি ফুটা থাকে, জ্যাকেটের ফুটার ঠিক উপরে। প্রথমে R-এর দৈর্ঘ্য প্রাথমিক তাপমাত্রায় মাপিয়া যথাস্থানে বসান হয়। তাহার পর



চিত্র নং 10

জ্যাকেটের মধ্য দিয়া বাষ্প পাঠাইয়া দণ্ডকে গরম করা হয়। তখন প্রসারণের জন্য R-এর উপর প্রান্ত ঠেলিয়া উঠে। কতটা উঠিল তাহা স্ফেরোমিটারের মধ্যকার পায়া ঘুরাইয়া বাহির করা হয়। এই ভাবে প্রসারণ বাহির হয়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি থার্মোমিটার T-র সাহায্যে জানা যায়। সমীকরণ (2·2·1) হইতে বাহির করা হয়।

অণুবীক্ষণ পদ্ধতি—চিত্র-11-তে যন্ত্রটি দেখান হইয়াছে। নীরেট দণ্ডের বদলে ফাঁপা দণ্ড লওয়া হয়, দুই প্রান্ত কর্ক দিয়া বন্ধ থাকে। এই কর্ক দিয়াই স্টীম পাঠাইবার নল গিয়াছে। গরম করিবার জন্য স্টীম এই ফাঁপা দণ্ডের মধ্য দিয়াই পাঠান হয়। দণ্ডের দুই প্রান্তে দুইটি সূক্ষ্ম দাগ থাকে। প্রসারণ হইলে দাগ দুইটি সরিয়া যায়। কতটা সরিল তাহা উপরে রাখা দুইটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের (M,M) সাহায্যে বাহির করা হয়। M_1, M_2 একটি স্কেলের সহিত যুক্ত থাকে। উহাদের সঙ্গে ভার্ণিয়ার স্কেল যুক্ত থাকে V_1, V_2। উহাদের সরাইয়া দাগ দুইটি কত সরিল, এবং কতখানি মোট প্রসারণ স্থির করা হয়।



চিত্র নং 11

পৃষ্ঠ প্রসারণ গুণাংক (Co-efficient of Superficial expansion) : উপরে পড়িয়াছ, গরম করিলে বস্তুর পৃষ্ঠেরও প্রসারণ হয়। এই প্রসারণও পৃষ্ঠের প্রাথমিক ক্ষেত্রফল ও উষ্ণতা বৃদ্ধির সহিত সমানুপাতিক। যদি এই গুণাংক হয় β, আর 0° ও t° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল হয় যথাক্রমে S_o, S_t, তবে প্রসারণ গুণাংক হইবে

$$\beta = \frac{S_t - S_o}{S_o t} \qquad \cdots \qquad \cdots \quad (2{\cdot}2{\cdot}4)$$

আর, $$S_t = S_o(1 + \beta t) \qquad \cdots \qquad \cdots \quad (2{\cdot}2{\cdot}5)$$

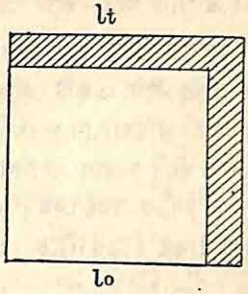
আয়তন প্রসারণ গুণাংক (Co-efficient of Cubical expansion) : একইভাবে, গরম করিলে বস্তুর আয়তন বাড়ে। যদি আয়তন প্রসারণ গুণাংক হয় γ আর 0°, t° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় আয়তন হয় V_o, V_t, তবে

$$\gamma = \frac{V_t - V_o}{V_o t} \qquad \cdots \qquad \cdots \quad (2{\cdot}2{\cdot}6)$$

আর, $$V_t = V_o(1 + \gamma t \qquad \cdots \qquad \cdots \quad (2{\cdot}2{\cdot}7)$$

2·3. বিভিন্ন তাপসংক্রান্ত প্রসারণ গুণাংকের মধ্যেকার সম্পর্ক : তোমরা বুঝিতে পারিয়াছ কোন বস্তুকে গরম করিলে কিভাবে বিভিন্ন প্রসারণ ঘটে। উষ্ণতা পরিবর্তনের ফলে **যে কোন** দুই বিন্দুর মধ্যেকার দূরত্বের প্রসারণ

হয়। ফলে, বস্তুর পৃষ্ঠের প্রসারণ হয়, আকৃতি ঠিক থাকে এবং একই কারণে আয়তনেরও প্রসারণ হয়। সুতরাং α, β ও γ সম্পর্কহীন নয়। উহাদের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক আছে।



চিত্র নং 12

α ও β-র সম্পর্ক ঃ ধর, 0° সেন্টিগ্রেডে একটি বস্তুর পৃষ্ঠ একটি বর্গক্ষেত্র (square); বাহু l_o সে. মি.। গরম করিলে, $t°$ সেন্টিগ্রেডে উহার বাহু হইল l_t সে. মি. [চিত্র নং 12]। সুতরাং $S_o=l_o^2$; $S_t=l_t^2$ সমীকরণ (2·2·2) ও (2·2·5) অনুসারে,

$$l_t=l_o(1+\alpha t)$$
$$S_t=S_o(1+\beta t)$$
$$\therefore\ l_t^2=l_o^2(1+\beta t)$$

আবার $l_t^2=\{l_o(1+\alpha t)\}^2$

$$=l_o^2(1+\alpha t)^2$$
$$=l_o^2(1+2\alpha t) \quad [\because\ \alpha \text{ অত্যন্ত ক্ষুদ্র বলিয়া } \alpha^2t^2 \text{ নগণ্য}]$$
$$\therefore\ \beta=2\alpha \quad \ldots \quad \ldots \quad (2\cdot3\cdot1)$$

α ও γ-র সম্পর্ক ঃ ধর, একটি বস্তু একটি ঘনক (Cube); 0° ও $t°$ সেন্টিগ্রেড ঞ্চতায় ঘনকের বাহু যথাক্রমেউ l_o, l_t সে. মি. আর আয়তন V_o, V_t। সুতরাং সমীকরণ (2·2·7) অনুসারে,

$$S_t=S_o(1+\gamma t)$$

কিন্তু $S_t=l_t^3$; $S_o=l_o^3$

$$l_t^3=l_o^3(1+\gamma t)$$

কিন্তু $l_t^3=\{l_o(1+\alpha t)\}^3=l_o^3(1+3\alpha t)$

$$[\because\ \alpha \text{ অত্যন্ত ক্ষুদ্র বলিয়া } \alpha^2t^2, \alpha^3t^3 \text{ নগণ্য}]$$
$$\therefore\ \gamma=3\alpha \quad \ldots \quad \ldots \quad (2\cdot3\cdot2)$$

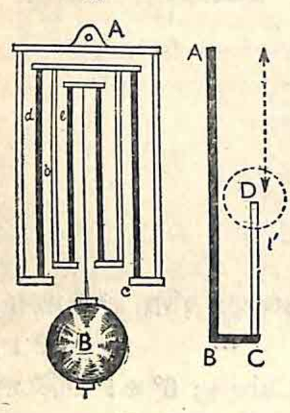
সুতরাং **পৃষ্ঠ প্রসারণ গুণাংক = 2 × দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক।**

আয়তন প্রসারণ গুণাংক = 3 × দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক

2·4. দৈর্ঘ্য প্রসারণের ব্যবহারিক প্রয়োগ ঃ দৈর্ঘ্য প্রসারণ আমাদের জীবনে অনেক অসুবিধা সৃষ্টি করে, আবার কয়েকক্ষেত্রে সুবিধারও সৃষ্টি করে। § 2·1 অনুচ্ছেদে তোমরা পড়িয়াছ, বড় সেতুকে দুই দিকে শক্ত করিয়া আঁটিয়া রাখা বিপজ্জনক। একদিক খোলা রাখা হয় এবং একটি রোলারের উপর স্থাপন করা হয়। রেললাইন পাতিবার সময় পর পর দুই খণ্ডের মধ্যে অল্প ফাঁক রাখা হয়। ক্লক ঘড়ির দোলক দৈর্ঘ্য প্রসারণের ফলে গ্রীষ্মকালে বড় হয়, দোলনকাল বাড়িয়া যায় ও ঘড়ি স্লো চলে। এইজন্য ক্লক ঘড়িতে দোলকের সংশোধনের ব্যবস্থা করিতে হয়।

আবার সুবিধার মধ্যে, দৈর্ঘ্য প্রসারণের জন্যই গরুর গাড়ীর কাঠের চাকায় লোহার পাটি অত সহজে শক্ত করিয়া লাগান যায়।

সংশোধিত দোলক (Compensated Pendulum) : তোমরা জান, ক্লক ঘড়ির কাঁটা একটি দোলকের গতি অনুযায়ী চলে। এক একটি স্পন্দনে কাঁটা এক এক ঘর সরিয়া যায়। যদি দোলকের স্পন্দনকাল (Period of swing) পুরা এক সেকেণ্ড হয় (অর্থাৎ দোলনকাল বা Period of oscillation, পুরা দুই সেকেণ্ড), তবে ঘড়ি ঠিক সময় দেয়। এই দোলকটি সরল দোলক (Simple Pendulum) নয়, একটি ধাতুর রডের নীচে একটি ধাতব চাকৃতি লাগান থাকে। ইহার স্পন্দনকাল ঠিক 1 সেকেণ্ড হইলেও গ্রীষ্মকালে উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য দৈর্ঘ্য বাড়িয়া যায় এবং স্পন্দনকালও (দোলনকালের অর্ধেক) বাড়িয়া যায়। ঘড়ি তখন স্লো যায়। মনে কর, একটি ধাতুনির্মিত রড AB, দৈর্ঘ্য l, গরম করা হইল [চিত্র নং 13*b*]। যদি উহা A-তে আটকান থাকে তবে ঝুলিয়া পড়িবে। B-তে একটি ছোট অনুভূমিক রড BC লাগান হয় এবং C-তে অন্য ধাতুর রড CD, দৈর্ঘ্য l' খাড়াভাবে বসান আছে। উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য CD-র দৈর্ঘ্য বাড়িবে। যেহেতু রড CD C-তে আটকান, সুতরাং CD উপরদিকে বাড়িবে। ফলে CD-র ভারকেন্দ্র সামান্য উঠিবে। এখন দুই ধাতু যদি এমনভাবে বাছিয়া লওয়া হয় এবং l ও l' এমনভাবে হিসাব করিয়া লওয়া হয়, যাহাতে একই উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য AB নীচের দিকে যতটা ঝুলিবে, CD উপর দিকে ঠিক ততটাই উঠিবে। তাহা হইলে সমগ্র দোলকের ভারকেন্দ্র অপরিবর্তিত থাকিবে এবং দোলনকাল (ও স্পন্দনকাল) বদলাইবে না। এইভাবে গঠিত দোলককে বলে **হ্যারিসনের লৌহ গ্রিড দোলক** (Harrison's Grid-iron Pendulum)।



চিত্র নং 13 (*a*) (*b*)

হ্যারিসনের লৌহ গ্রিড দোলক : চিত্র নং 13 (a)-তে ইহার গঠন দেখান হইয়াছে। দেওয়ালের সহিত লাগান একটি অনুভূমিক রডের দুই প্রান্ত হইতে দুইটি সমান দৈর্ঘ্যের একই ধাতুর রড (*a*, *a*) খাড়াভাবে নামিয়া দুইটি অনুভূমিক ছোট রডে শেষ হইয়াছে। এই দুই দণ্ড হইতে সমান দৈর্ঘ্যের আর এক ধাতুর দুইটি রড (*d*, *d*) উপরে উঠিয়া একটি অনুভূমিক দণ্ডে শেষ হইয়াছে।

এই দণ্ড হইতে একটু ভিতর হইতে প্রথম ধাতুর দুইটি সমান দৈর্ঘ্যের রড, (*b*,*b*) খাড়াভাবে নামিয়া দুইটি ছোট অনুভূমিক দণ্ডে শেষ হইয়াছে। ইহাদের ভিতরের প্রান্ত হইতে আবার দ্বিতীয় ধাতুর তৈয়ারী সমান দৈর্ঘ্যের দুইটি রড, (*e*,*e*) খাড়াভাবে উঠিয়া একটি ছোট অনুভূমিক দণ্ডে শেষ হইয়াছে। ইহার কেন্দ্র হইতে একটি প্রথম

ধাতুর তৈয়ারী রড্ (c) নামিয়াছে এবং ইহারই নীচে একটি চাক্তি লাগান থাকে। সমস্ত মিলিয়া ইহাই হইল ঘড়ির দোলক।

উষ্ণতা বৃদ্ধিতে (a,a) নীচে নামে। (a,a) দুইটি রড্ হইলেও নীচের অনুভূমিক দণ্ড উভয়ের মোট প্রসারণের সমান নীচে নামে না। একটি রডের প্রসারণের সমানই নীচে নামে; কেবল দুই রড্ থাকাতে নীচের দণ্ড অনুভূমিকভাবে নামে। (d,d) উপরে উঠাতে একটি রডের প্রসারণের সমান উপরে উঠে। (b,b) নীচে নামাতে একটি রডের প্রসারণের সমান নীচের দণ্ড অনুভূমিকভাবে নীচে নামে। (e,e) উপরে উঠাতে e-র প্রসারণের সমান উপরে উঠে। c একটি রড্। উহার প্রসারণ যতটা হয় তাহার পরিমাণ বব্ নীচে নামে। মিলিত ফল এই, a,b,c, এই তিনটি রডের মোট প্রসারণের সমান দৈর্ঘ্য বব্ নামিবে; আর d,e এই দুইটি রডের মোট প্রসারণের সমান দৈর্ঘ্য উপরে নীচে উঠিবে। এই দুইটি প্রসারণ সমান হইলে ববের অবস্থান বদলাইবে না। দোলকের দোলনকাল ঠিকই থাকিবে।

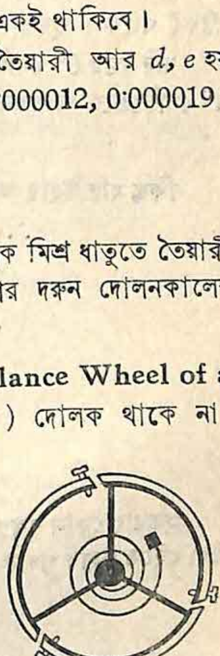
যদি প্রথম ধাতুর দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক হয় α, আর a,b, c-র মোট দৈর্ঘ্য l; আর যদি দ্বিতীয় ধাতুর গুণাংক হয় α', আর d, e-র মোট দৈর্ঘ্য l' এবং যদি $l\alpha = l'\alpha'$ হয়, তবে যে কোনও উষ্ণতা পরিবর্তনে দোলকের দোলনকাল একই থাকিবে।

সাধারণতঃ লৌহ গ্রিড দোলকে a, b, c হয় লোহার তৈয়ারী আর d, e হয় পিতলের তৈয়ারী। উহাদের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক যথাক্রমে 0·000012, 0·000019; সুতরাং উহাদের মোট দৈর্ঘ্যদ্বয়ের অনুপাত হইবে,

$$\frac{l}{l'} = \frac{19}{12}, \text{ বা প্রায় } \frac{3}{2}$$

আজকাল, ক্লক ঘড়ির দোলক ইন্‌ভার (Invar) নামে এক মিশ্র ধাতুতে তৈয়ারী হয়। ইহার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক এত কম যে, উহার প্রসারণের দরুন দোলনকালের হ্রাস-বৃদ্ধি নগণ্য।

2·5. ঘড়ির সংশোধিত চক্র (Compensated Balance Wheel of a Watch): ছোট ঘড়িতে (হাত ঘড়ি বা পকেট ঘড়িতে) দোলক থাকে না। তাহার বদলে থাকে একটি ব্যালান্স চক্র (Balance Wheel)। ইহার দোলন দ্বারা ঘড়িটির কাঁটা নিয়ন্ত্রিত হয়। এই দোলনকাল চক্রের ব্যাসের উপর নির্ভর করে (যেমন, সাধারণ দোলকের দোলনকাল উহার দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে)। সাধারণ অবস্থায় উষ্ণতা বৃদ্ধিতে ব্যাস বাড়ে এবং ফলে দোলনকাল বাড়ে ও ঘড়ি স্লো যায়। সেইজন্য এই চক্রকে নিম্নবর্ণিত উপায়ে সংশোধিত করা হয়। চক্রের পরিধি অবিচ্ছিন্ন নয়, উহা তিনটি বিচ্ছিন্ন ও সমান বৃত্তচাপে বিভক্ত (চিত্র নং 14)। প্রত্যেক বৃত্তচাপ তাহার একপ্রান্তে একটি স্পোক (spoke) দ্বারা কেন্দ্রের সহিত যুক্ত। অপর প্রান্তে



চিত্র নং 14

একটি স্ক্রু লাগান আছে। এই স্ক্রু সংশোধক হিসাবে কাজ করে। আর প্রতি বৃত্তচাপ সমান দৈর্ঘ্যের দুইটি ভিন্ন ধাতুর পাতলা খণ্ড দ্বারা তৈয়ারী। আবার যে ধাতুর রৈখিক গুণাংক বেশী, সেই ধাতুর খণ্ড বাহিরে থাকে।

উষ্ণতা বৃদ্ধি হইলেই স্পোকের দৈর্ঘ্য বাড়িয়া যায়। কিন্তু প্রতি বৃত্তচাপ ভিন্ন ধাতুর দুই সমান্তরাল খণ্ড দ্বারা তৈয়ারী বলিয়া সঙ্গে সঙ্গে বাঁকিয়া যায় [§ 2·1, চিত্র 8 দ্রষ্টব্য]। ফলে স্ক্রু সহ মুক্ত প্রান্ত সামান্য ভিতরে ঢুকিয়া যায়। যদি সমগ্র চক্রটি এমনভাবে তৈয়ারী করা হয় যে স্পোকের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির জন্য প্রতি বৃত্তচাপে যে পরিমাণ ভর কেন্দ্র হইতে দূরে চলিয়া যায়, স্ক্রু সহ অপরপ্রান্ত ভিতরে ঢুকাতে সেই পরিমাণ ভর যতটা কেন্দ্রের দিকে ততটা চলিয়া আসে, তবে চক্রের গড় ব্যাস বদলায় না এবং উহার নির্ভুল দোলনের ফলে উষ্ণতা হ্রাস বা বৃদ্ধি সত্ত্বেও ঘড়ি ঠিক সময় দেয়।

2·6. কঠিন বস্তুর আয়তন প্রসারণ ও ঘনত্বের পরিবর্তনঃ—কোনও কঠিন বস্তুকে গরম করিলে উহার আয়তন বৃদ্ধি পায় উহার পদার্থের আয়তন প্রসারণ গুণাংকের (Co-efficient of cubical expansion-এর) অনুপাতে, কিন্তু ভর ঠিকই থাকে। সুতরাং সেই একই অনুপাতে ঐ বস্তুর ঘনত্বও এক সঙ্গেই হ্রাস পাইবে।

যদি বস্তুর 0° সেন্টিগ্রেডে আয়তন ও ঘনত্ব যথাক্রমে V_o ও D_o হয় এবং যদি t° সেন্টিগ্রেডে আয়তন ও ঘনত্ব যথাক্রমে V' ও D' হয়, তবে

$$V_oD_o = V'D'$$

কিন্তু যদি উহার আয়তন প্রসারণ গুণাংক হয় γ, তবে $V' = V_o(1+\gamma t)$

$$\therefore\quad V_oD_o = V_o(1+\gamma t).D'$$

$$\text{বা.}\quad D_o = D'(1+\gamma t) \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (2{\cdot}6{\cdot}1)$$

$$\therefore\quad \gamma = \frac{1}{t}\left[\frac{D_o}{D_t} - 1\right]$$

$$= \frac{D_o - D_t}{D_t t}$$

$$= \frac{D_o - D_t}{D_{ot}} \text{ (প্রায়)} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (2{\cdot}6{\cdot}2)$$

সুতরাং কোন বস্তুর আয়তন না মাপিয়া দুইটি বিভিন্ন উষ্ণতায় উহার ঘনত্ব মাপিয়া উহা হইতে উহার পদার্থের আয়তন প্রসারণ গুণাংক বাহির করা যায়।

দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংকের তালিকা

(একক—প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড)

তামা (Cu)	=0·0000168	রৌপ্য (Ag)	=0·0000192
লৌহ (Fe)	=0·0000109	দস্তা (Zn)	=0·0000292
সীসা (Pb)	=0·0000292	পিতল (Brass)	=0·0000193
প্লাটিনাম (Pt)	=0·0000089	কাঁচ (Glass)	=0·0000086

উদাহরণ ঃ 1. 1 ফুট ব্যাসের একটি লোহার বেড়কে (ring) 1·005 ফুট ব্যাসের একটি কাঠের চাকার উপর লাগাইতে হইবে। যদি বেড়ের উষ্ণতা হয় 10° সেণ্টিগ্রেড তবে উহাকে বসাইতে উহার উষ্ণতা কতটা বৃদ্ধি করিতে হইবে? [$\alpha = 0{\cdot}000012/°$ সেণ্টিগ্রেড]

ইহার সমাধান দুই পদ্ধতিতে হয়। এক পদ্ধতি অনুযায়ী পরিধির প্রাথমিক ও অন্তিম দৈর্ঘ্য হিসাব করিয়া সমীকরণ (2·2·3)-এ বসাইয়া t-র মান বাহির করা যায়।

অথবা, ধর, ব্যাস বরাবর একটি সরু এবং ঐ পদার্থের সরু রড আছে। গরম করিলে যেমন পরিধি বাড়িতে বাড়িতে চাকার পরিধির সমান হইবে, সেই সঙ্গে ব্যাসও বাড়িতে বাড়িতে চাকার ব্যাসের সমান হইবে। সুতরাং পরিধির হিসাব না করিয়া ব্যাসের হিসাব করিলেই সমাধান হইবে।

$$\therefore\ 1{\cdot}005 = 1\ [\,1 + 0{\cdot}000012\,(t - 10)\,]$$

সমাধান করিলে, $t = 426{\cdot}6°$ সেণ্টিগ্রেড।

2. একটি লোহার পিণ্ডের 100° সেণ্টিগ্রেডে আয়তন 10 বর্গ সে. মি.। 25° সেণ্টিগ্রেডে উহার আয়তন কত হইবে? [$\alpha = 0{\cdot}000012$]

এখানে, $\gamma = 3\alpha = 0{\cdot}000036$

$$V_{100} = V_{25}\,[1 + 0{\cdot}000036(100 - 25\,]$$

$$10 = V_{25}(1 + 75 \times 0{\cdot}000036)$$

$$V_{25} = 9{\cdot}97 \text{ ঘনফুট।}$$

3. 20° সেণ্টিগ্রেডে একটি দস্তার স্কেল দিয়া মাপাতে দেখা গেল একটি কাঁচের রড 1 মিটার দীর্ঘ। যদি ঐ স্কেল 0° সেণ্টিগ্রেডে নির্ভুল হয়, তবে 0° সেণ্টিগ্রেডে কাঁচের রডটির দৈর্ঘ্য কত? (কাঁচের $\alpha = 0{\cdot}000008$; দস্তার $0{\cdot}000026$)

0° সেণ্টিগ্রেডে স্কেলের 1 মিটার দৈর্ঘ্য 20° সেণ্টিগ্রেড হয়—

$$1\ (1 + 20 \times 0{\cdot}000026) \text{ মিটার}$$

যদি 0° সেণ্টিগ্রেডে রডটির দৈর্ঘ্য হয় l মিটার, তবে 20° সেণ্টিগ্রেডে উহার দৈর্ঘ্য হইবে

$$l\ (1 + 20 \times 0{\cdot}000008)$$

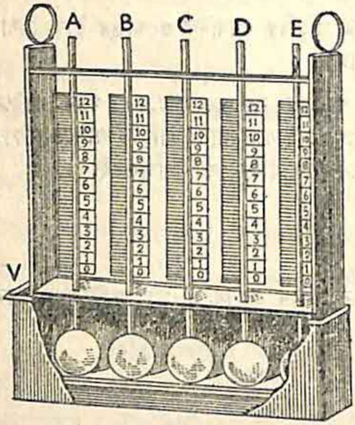
$$\therefore\ l \times 1{\cdot}00016 = 1{\cdot}00052$$

$$\text{বা, } l = \frac{1{\cdot}00052}{1{\cdot}00016} = 1{\cdot}00035 \text{ মিটার}$$

$$= 100{\cdot}035 \text{ সে. মি.।}$$

2.7. তরল পদার্থের প্রসারণ ঃ তোমরা আগেই পড়িয়াছ, উষ্ণতা বৃদ্ধিতে কঠিন পদার্থের ন্যায় তরল পদার্থেরও প্রসারণ হয়। তরল পদার্থেরও আয়তন প্রসারণ গুণাংক আছে, কিন্তু উহার কোন দৈর্ঘ্য নাই। দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংকও নাই। তবুও তরলের আয়তন প্রসারণ একটি দৈর্ঘ্য প্রসারণ হিসাবেই দেখান যায় এবং ইহাই তরলের প্রসারণ দেখাইবার সহজ উপায়। পারদ থার্মোমিটারে উষ্ণতা বৃদ্ধির ফলে পারদের দৈর্ঘ্য বাড়ে, ইহা তোমরা সকলেই দেখিয়াছ। ইহা সম্ভব এই কারণে যে সাধারণতঃ কঠিন পদার্থের তুলনায় তরল পদার্থের প্রসারণ বেশী হয়।

পরীক্ষা—চিত্র নং 15-এ দেখা যাইতেছে, কয়েকটি সমান আয়তনের কাঁচের বালব্। প্রত্যেকটির উপর সমপ্রস্থচ্ছেদের একটি করিয়া সরু ফাঁপা কাঁচের নল লাগান।

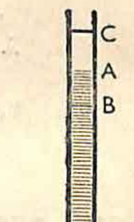


চিত্র নং 15

প্রথমে সমান আয়তনের ভিন্ন ভিন্ন তরল ভিন্ন ভিন্ন কাঁচের নলে ঢালা হয় এবং নলের মধ্যে বিভিন্ন তরলের পৃষ্ঠের লেভেল দেখিয়া লওয়া হয়। বাল্‌বগুলি একটি খালি পাত্রে রাখিয়া ঐ পাত্রে গরম জল ঢালা হয়। সমস্ত বাল্‌বের একই উষ্ণতা বৃদ্ধি হয়। কিন্তু দেখা যায়, ভিন্ন ভিন্ন তরল ভিন্ন ভিন্ন লেভেলে উঠিয়াছে। এখানে দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি আসলে আয়তন বৃদ্ধির প্রকাশ। কারণ, উষ্ণতা বৃদ্ধিতে বাল্‌ব ও নলেরও প্রসারণ হয়। কিন্তু তাহার তুলনায় তরলের প্রসারণ অনেক বেশী। সেজন্য দেখা যায় তরল নলের মধ্যে উঠিতেছে।

প্রকৃত ও আপাত আয়তন প্রসারণ ঃ তোমাদের এখন নিশ্চয়ই ধারণা হইয়াছে, কঠিন বস্তুর মত তরল বস্তুকে গরম করা যায় না। উহাকে একটি কঠিন পাত্রে রাখিয়া গরম করিতে হয়। তোমরা ইহাও জান যে, কোন ফাঁপা বস্তুকে গরম করিলে সমগ্র বস্তুটির আয়তন বাড়িবে। সঙ্গে সঙ্গে ফাঁপা অংশেরও আয়তন বাড়িবে। সমগ্র বস্তুটি নীরেট হইলে ঐ অংশটুকুর যতখানি আয়তন বাড়িত, ফাঁপা হওয়ায় ফাঁপা অংশেরও ততখানিই বাড়িবে।

চিত্র নং 16-তে একটি কাঁচের ফ্লাস্ক দেখা যাইতেছে। উহাতে A লেভেল পর্যন্ত একক তরলে ভর্তি করা হইল এবং বাহির হইতে গরম করা হইল। প্রথমে ফ্লাস্ক গরম হইয়া ভিতরের ফাঁপা অংশ আয়তনে বাড়িয়া উঠিবে; কিন্তু ভিতরের তরল গরম না হওয়ায় উহার আয়তন একই থাকিবে। ফলে দেখা যাইবে, তরল A লেভেল হইতে নামিয়া B লেভেলে আসিবে এবং আস্তে আস্তে তাপ ভিতরের তরলে প্রবেশ করিবে। ফলে তরলের আয়তন বাড়িবে। এবং উহার স্বাধীনতল B হইতে বাড়িতে বাড়িতে C লেভেলে পৌঁছাইবে।



চিত্র নং 16

সুতরাং আয়তন AB হইতেছে ফ্লাস্কের ফাঁপা অংশের আয়তন-প্রসারণ। আয়তন BC হইতেছে ভিতরের তরলের প্রকৃত আয়তন প্রসারণ। আর গরম করিবার পূর্বে তরলের লেভেল ছিল A, গরম করিবার পর (ফ্লাস্ক ও তরল সমান উত্তপ্ত হওয়ার পর) তরলের লেভেল হইল C। সুতরাং এই সমস্ত উত্তাপনের ফলে তরলের লেভেল A হইতে উঠিয়া C-তে আসিল। বলা যায়, আয়তন AC হইতেছে তরলের আপাত প্রসারণ।

স্পষ্টতঃ, $BC = AB + AC$ ... ... (2·7·1)

বা, তরলের প্রকৃত আয়তন প্রসারণ = পাত্রের ফাঁপা অংশের আয়তন প্রসারণ + তরলের আপাত আয়তন প্রসারণ।

এই কারণেই বলা চলে, কঠিন বস্তুর একটি আয়তন প্রসারণ হইতে পারে, কিন্তু তরল বস্তুর দুইটি আয়তন প্রসারণ হয়, প্রকৃত ও আপাত। প্রথমটি তরলের নিজস্ব বৈশিষ্ট্য অনুযায়ী হয়, দ্বিতীয়টি তরল ও কঠিন পাত্র উভয়ের বৈশিষ্ট্য অনুযায়ী হয়। সুতরাং একই তরল কাঁচের এবং ধাতুর পাত্রে রাখিয়া গরম করিলে ভিন্ন ভিন্ন আপাত আয়তন প্রসারণ ঘটিবে। সুতরাং কোনও তরলের নিজস্ব একটি প্রকৃত আয়তন প্রসারণ গুণাংক আছে এবং অন্য কোনও কঠিন পদার্থের সহিত একটি আপাত আয়তন প্রসারণ গুণাংক আছে।

প্রকৃত এবং আপাত আয়তন প্রসারণ গুণাংক এবং তাহাদের পারস্পরিক সম্পর্ক ঃ মনে কর, 0° সেন্টিগ্রেডে V আয়তনের একটি তরল একটি কঠিন ফাঁপা পাত্রে রাখিয়া গরম করা হইল এবং t° সেন্টিগ্রেডে উহার আয়তন হইল V'। যদি তরলের প্রকৃত গুণাংক হয় γ, তবে তরলের প্রকৃত প্রসারণ

$$= V' - V = V\gamma t.$$

প্রথমে তরলটি ফাঁপা পাত্রের ফাঁপা অংশের V আয়তন অধিকার করিয়াছিল। উষ্ণতা বৃদ্ধিতে উহার আয়তন বৃদ্ধি পাইল। ঐ V আয়তন ফাঁপা অংশের প্রসারণ হইবে, $V\gamma_g t$ [এখানে γ_g = কঠিন পদার্থটির আয়তন প্রসারণ গুণাংক]।

প্রথম হইতে শেষ পর্যন্ত তরলের যে প্রসারণ ধরা পড়ে (বা, আপাত আয়তন প্রসারণ) তাহা হইবে উপরের দুই প্রসারণের অন্তর ফল। এই আয়তন প্রসারণের ভিত্তিতে আয়তন প্রসারণ গুণাংকের সংজ্ঞানুযায়ী একটি গুণাংক থাকিবে। ইহাই ঐ তরলের (ঐ কঠিন পদার্থের পাত্রে থাকিলে) আপাত প্রসারণ গুণাংক। যদি ইহা হয় γ', তবে আপাত প্রসারণ = $V.\gamma'.t$;

$$\therefore \quad V\gamma' t = V\gamma t - V\gamma_g t$$

বা, $\gamma' = \gamma - \gamma_g$

বা, $\gamma = \gamma' + \gamma_g$ ... ... (2·7·1.)

প্রকৃত ও আপাত প্রসারণ গুণাংক ঃ

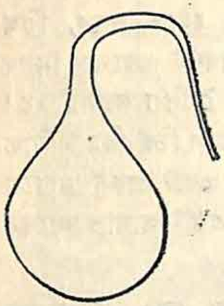
প্রকৃত প্রসারণ গুণাংক = $\dfrac{\text{প্রকৃত আয়তন বৃদ্ধি}}{\text{তরলের প্রাথমিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}}$

আপাত প্রসারণ গুণাংক = $\dfrac{\text{আপাত আয়তন বৃদ্ধি}}{\text{তরলের প্রাথমিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}}$

2·8. তরলের আয়তন প্রসারণ গুণাংক নির্ণয় ঃ তরলের দুইটি গুণাংক আছে—প্রকৃত ও আপাত। পাত্রের প্রসারণ না ধরিলে যে গুণাংক পাওয়া যায়

তাহাই আপাত প্রসারণ গুণাংক। ইহার নির্ণয় কয়েকটি পদ্ধতিতে করা যায়; তবে ওজন থার্মোমিটার পদ্ধতি বহুল ব্যবহৃত।

আপাত প্রসারণ গুণাংক নির্ণয়ে ওজন থার্মোমিটার পদ্ধতি ঃ একটি মাঝারি রকমের মোটা ভাল কাঁচের নল লও। উহাকে পরিষ্কার করিয়া ধুইয়া এবং পরে শুকাইয়া সাবধানে একদিক আগুনে গলাইয়া আর একদিক হইতে ফুঁ দিয়া একটি বাল্‌ব্ তৈয়ারী কর। তাহার পর আর একদিকে প্রান্ত হইতে কিছু নীচে আগুনে গলাইয়া ঐ প্রান্ত টানিয়া ঘাড়কে বাঁকাইয়া ক্রমশঃ খুব সরু করিয়া টান। একেবারে শেষের অংশ ভাঙিয়া বাদ দাও। বস্তুটির আকার চিত্র নং 17-এর অনুরূপ হইবে। ইহাই **ওজন থার্মোমিটার**।



চিত্র নং 17

প্রথমে খালি পাত্রটির ওজন লও; ধর, W গ্রাম। এইবার উহাকে প্রাথমিক বা ঘরের উষ্ণতায় তরলে একেবারে ভর্তি কর। সোজাসুজি ভর্তি হইবে না। সরু মুখটি তরলের পাত্রে ডুবাইয়া ওজন থার্মোমিটার অল্প গরম কর। কিছু ভিতরের বাতাস বাহির হইয়া যাইবে। এইবার ঠাণ্ডা কর। অমনি কিছু তরল ভিতরে ঢুকিবে। এইভাবে একবার গরম ও একবার ঠাণ্ডা করিয়া আস্তে আস্তে সমস্ত পাত্র তরলে ভর্তি কর। সরু মুখ তরলের পাত্রে ডুবাইয়া রাখিয়া সমস্ত দ্রব্যকে ঠাণ্ডা করিয়া ঘরের উষ্ণতায় আন। এখন ওজন থার্মোমিটার ঘরের উষ্ণতায় (ধর $t_1°$ সেন্টিগ্রেড) পুরাপুরি তরলে ভর্তি হইল। বাহির গাত্র ভাল করিয়া মুছিয়া ওজন লও। মনে কর, W_1 গ্রাম। তাহা হইলে ভিতরের তরলের ভর $W_1 - W = m_1$ গ্রাম।

এইবার এক পাত্র জল গরম করিয়া একটি উষ্ণতর অবস্থায় (ধর, $t_2°$ সেন্টিগ্রেড) আন। থার্মোমিটার ডুবাইয়া রাখিয়া যখন দেখিবে উষ্ণতা স্থির আছে ($t_2°$ সেন্টিগ্রেডে), তখন ওজন থার্মোমিটার উহার মধ্যে ডুবাইয়া ধর; কিন্তু যেন সরু মুখটি তরলের পাত্রে ডুবিয়া থাকে। প্রসারণের জন্য কিছু তরল বাহির হইয়া তরলের পাত্রে চলিয়া যাইবে। ঐ অবস্থায় ওজন থার্মোমিটার তুলিয়া লও (সরু মুখও যেন তরলের পাত্র হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া যায়)। বাহির গাত্র মুছিয়া লইয়া ঠাণ্ডা করিয়া আবার ওজন লও। মনে কর, ওজন W_2 গ্রাম। সুতরাং যে তরল থাকিল উহার ভর $W_2 - W = m_2$ গ্রাম।

এই m_2 গ্রাম তরল পূর্বে $t_1°$ সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় ঐ বাল্‌বের ভিতরই ছিল, কিন্তু সমস্ত আয়তন অধিকার করিয়া ছিল না। আর $t_2°$ সেন্টিগ্রেট উষ্ণতায় সেই m_2 গ্রাম তরল সমস্ত বাল্‌বের আয়তন অধিকার করিল। অবশ্য বাল্‌বের নিজের আয়তনই উষ্ণতা বৃদ্ধিতে বাড়িয়া গিয়াছে; কিন্তু যেহেতু আমাদের উদ্দেশ্য আপাত প্রসারণ গুণাংক বাহির করা, সুতরাং আমরা বাল্‌বের আয়তন বৃদ্ধি ধরিবই না। মনে করা যাউক, বাল্‌ব সম আয়তনেই আছে। যদি ঘরের উষ্ণতায় ($t_1°$ সেন্টিগ্রেডে) তরলের ঘনত্ব হয় ρ গ্রাম/ঘন সে. মি. তবে m_2 গ্রাম তরল প্রাথমিক উষ্ণতায় ওজন

থার্মোমিটারের $\frac{m_2}{\rho}$ ঘন সে. মি. আয়তন অধিকার করিয়াছিল, তখন বাল্‌বের ভিতর মোট তরল ছিল m_1 গ্রাম। সুতরাং ওজন-থার্মোমিটারের আয়তন ছিল $\frac{m_1}{\rho}$ ঘন সে. মি.। $t_2°$ সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় প্রসারণের ফলে $\frac{m_2}{\rho}$ আয়তন তরল বাড়িয়া সমস্ত বাল্‌ব বা $\frac{m_1}{\rho}$ আয়তন অধিকার করিল (যদি ওজন থার্মোমিটারের নিজের আয়তন বৃদ্ধি না ধরা হয়)। সুতরাং $\frac{m_2}{\rho}$ আয়তন তরলের আয়তন বৃদ্ধি হইল-

$$\left(\frac{m_1}{\rho}-\frac{m_2}{\rho}\right)$$

∴ সংজ্ঞানুসারে, আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক

$$\gamma' = \frac{\frac{m_1}{\rho}-\frac{m_2}{\rho}}{\frac{m_2}{\rho}(t_2-t_1)}$$

$$= \frac{m_1-m_2}{m_2(t_2-t_1)}$$

$$= \frac{\text{বহির্গত তরলের ভর}}{\text{অবশিষ্ট তরলের ভর} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}}\text{।}$$

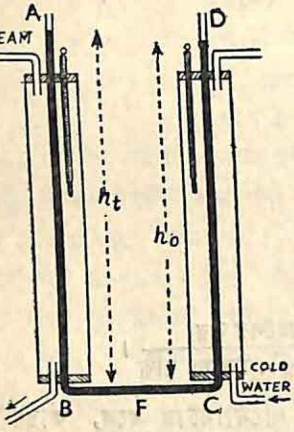
[দ্রষ্টব্য : চিত্র নং 14-এর ফ্লাস্কটিকে ওজন থার্মোমিটার বলে, কারণ এক এক উষ্ণতায় উহাতে এক এক পরিমাণ তরল ধরিবে। সুতরাং 0° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় কোনও তরলে পরিপূর্ণ করিয়া ওজন লও। এইবার 10°, 20°, 30° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় উহাকে ওজন করিয়া ভিন্ন ভিন্ন ওজন সেই সেই উষ্ণতার সহিত একটি গ্রাফ কাগজে প্লট করিয়া একটি গ্রাফ রেখা টান। এইবার কোনও উষ্ণতা মাপিতে হইলে ওজন-থার্মোমিটারকে তরলে ভর্তি করিয়া সেই উষ্ণতায় রাখ এবং ওজন লও। এইবার উপরের গ্রাফ রেখা হইতে সেই ওজনের অনুরূপ (corresponding) উষ্ণতা বাহির কর। সেই উষ্ণতাই হইবে নির্ণেয় উষ্ণতা। এইভাবে উক্ত ফ্লাস্কটিকে থার্মোমিটার হিসাবে ব্যবহার করা যায় এবং সেই জন্যই উহার নাম **ওজন থার্মোমিটার**। তবে থার্মোমিটার হিসাবে উহার ব্যবহার বিশেষ হয় না, আপাত প্রসারণ গুণাঙ্কের পরিমাপক হিসাবে ব্যবহার হয়।]

প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় : ইহা কিছু কঠিনসাধ্য, কারণ তরলের সহিত কঠিন পাত্রেরও আয়তন প্রসারণ হয়। সেইজন্য উষ্ণতা বৃদ্ধির সহিত ঘনত্ব হ্রাসের যে সম্বন্ধ (§2·6 অনুচ্ছেদ) তাহার সাহায্য লইতে হয়। এই পদ্ধতিকে বলে **ডুলঙ-পেটিট পদ্ধতি** (Dulong and Petit's Method)।

ডুলঙ্-পেটিট পদ্ধতি ঃ এই পদ্ধতিতে তরলের আয়তন বৃদ্ধি মাপা হয় না। দুই ভিন্ন উষ্ণতায় একই তরলের ঘনত্বের অনুপাত মাপা হয় এবং তাহা হইতে তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক বাহির করা হয়।

ABCD একটি U-নল (দুই মুখ খোলা), AB ও CD দুই খাড়া অংশ, দুইটি জ্যাকেটে ঢাকা (চিত্র নং 15)। AB দিয়া বাষ্প চলাচল করান হয়; দ্বিতীয়টি দিয়া ঠাণ্ডা জল 0° সেন্টিগ্রেড বা যে কোন কম উষ্ণতায় চলাচল করান হয়। দুই জ্যাকেটের মধ্যে উপর হইতে দুইটি থার্মোমিটার প্রবেশ করাইয়া দুই দিকের উষ্ণতা মাপা হয়।

প্রথমে দুই জ্যাকেট শূন্য থাকে। দুই দিকে একই উষ্ণতা থাকায় দুই দিকে তরলের একই উচ্চতা (অনুভূমিক নল BC হইতে) থাকে। এইবার বাষ্প ও ঠাণ্ডা জল চলাচল করান হয়। AB-র তরলের ঘনত্ব (উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য) কমিয়া যায়। CD-র তরলের ঘনত্ব (উষ্ণতা হ্রাসের জন্য) বাড়িয়া যায়। উদ্‌স্থিতিবিদ্যার নিয়ম অনুসারে BC লেভেলে দুই দিকে একই চাপ সৃষ্টি হইলে তবেই সাম্য অবস্থা আসিবে। ফলে AB-তে তরলের উচ্চতা CD-তে তরলের উচ্চতা অপেক্ষা বেশী হইবে। দুই দিকের উচ্চতা h_t, h_o এবং উষ্ণতা t, t_o যথাক্রমে স্কেল ও থার্মোমিটার দিয়া মাপা হয়। যদি তরলের ঘনত্ব t° সেন্টিগ্রেডে ρ_t হয় এবং 0° সেন্টিগ্রেডে ρ_o হয়, তবে—



চিত্র নং 15

B বিন্দুতে চাপ $= P + g.\rho_t\ h_t$ (P = বায়ুর চাপ)

C বিন্দুতে চাপ $= P + g.\rho_o.h_o$

B ও C একই অনুভূমিক রেখায় অবস্থিত।

$\therefore\ P + g.\rho_t h_t = P + g.\rho_o.h_o$

বা, $\rho_t.h_t = \rho_o.h_o$

কিন্তু $\rho_o = \rho_t.(1+\gamma t)$ (γ = প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক)

$\therefore\ h_t = h_o(1+\gamma t)$

অথবা, $\gamma = \dfrac{h_t - h_o}{h_o.\ t}$. ... (2·8·1)

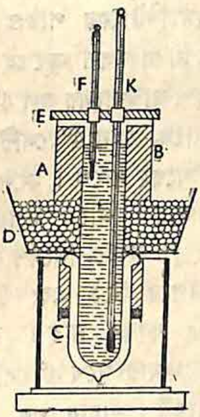
এখানে γ-র মান আয়তন প্রসারণ হইতে বাহির হইতেছে না, ঘনত্ব পরিবর্তন হইতে বাহির হইতেছে। সুতরাং প্রকৃত গুণাঙ্ক এই পদ্ধতিতে বাহির হইতেছে।

যদি 0° ও t°-র বদলে t_1° ও t_2° সেন্টিগ্রেড লওয়া হয়, তবে—

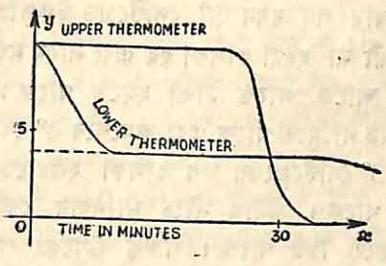
$\gamma = \dfrac{h_2 - h_1}{h_1(t_2 - t_1)}$, এই সমীকরণের সাহায্য লইতে হইবে। (2·8·2)

2·9. জলের অনন্য প্রসারণ (Anomalous Expansion of Water) : পৃথিবীতে সমস্ত পদার্থই গরম করিলে আয়তনে বাড়ে। কেবল জলের বেলায় ইহার এক আশ্চর্য ব্যতিক্রম দেখা যায়। 0° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা হইতে 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা পর্যন্ত জলকে গরম করিলে আয়তন না বাড়িয়া কমে। আবার 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতার পর হইতে অন্যান্য পদার্থের ন্যায় জলেরও আয়তন বৃদ্ধি হয়। সুতরাং যে কোন পরিমাণ জলের 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় সর্বনিম্ন আয়তন ও সর্বোচ্চ ঘনত্ব হয়। সেইজন্যই ঘনত্বের একক হিসাবে লওয়া হয় 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব এবং তাহা হইতেছে 1 গ্রাম / ঘন সে.মি. [অবশ্য সূক্ষ্ম পরিমাপ দ্বারা দেখা গিয়াছে, জলের সর্বোচ্চ ঘনত্ব 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় নয়, 3·8° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায়]। জলের ঘনত্ব যে 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় সর্বোচ্চ তাহা **হোপের পরীক্ষা** (Hope's Experiment) দ্বারা দেখান যায়।

হোপের পরীক্ষা (Hope's Experiment) : হোপের যন্ত্র চিত্র নং 16-তে দেখান হইয়াছে। একটি উচ্চ বেলন C (নীচের মুখ বন্ধ) খাড়া করিয়া রাখা



চিত্র নং 16



চিত্র নং 17

হইয়াছে। মাঝখানে একটি চওড়া গোল জ্যাকেট (D) উহাকে ঘিরিয়া আছে। উপরে দুইটি ছিদ্রমধ্যে থার্মোমিটার (F, K) কর্কের সাহায্যে আঁট করিয়া বসান আছে। বেলন C প্রথমে বিশুদ্ধ জল দিয়া ভর্তি করিয়া F এবং K-র পাঠ লওয়া হয়। একই পাঠ পাওয়া যাইবে। এইবার জ্যাকেট D বরফ ও লবণের মিশ্রণ দিয়া ভরিয়া দেওয়া হয়।

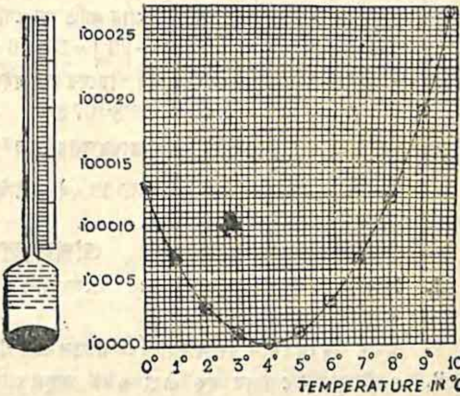
ইহার পর দুই থার্মোমিটার F, K-র পাঠ কিছুক্ষণ নিয়মিতভাবে লওয়া হয় এবং লিপিবদ্ধ করা হয়। দেখা যায়, প্রথমে নীচের থার্মোমিটারের পাঠ নামিতে থাকে, কিন্তু উপরের থার্মোমিটারের পাঠ অপরিবর্তিত থাকে। নীচের থার্মোমিটারের পাঠ কমিতে কমিতে 4° সেন্টিগ্রেডে চলিয়া আসে এবং

ঐখানেই স্থির হইয়া দাঁড়ায়। তখনও উপরের থার্মোমিটারের পাঠ ঘরের উষ্ণতাই নির্দেশ করে। কিছুক্ষণ পরে উপরের পাঠ অবশেষে নামিতে থাকে, আর নীচের পাঠ 4° সেন্টিগ্রেডে স্থির থাকে। উপরের পাঠ ক্রমাগত নামিতে নামিতে 4° সেন্টিগ্রেড হইতেও নীচে নামে, এবং অবশেষে 0° সেন্টিগ্রেডে আসিয়া থামে। তাহার পর নীচের পাঠ 4° সেন্টিগ্রেড হইতে নামিতে শুরু করে এবং 0° সেন্টিগ্রেডে আসিয়া থামে। এই দুই থার্মোমিটারের পাঠ যদি ভিন্ন ভিন্ন মুহূর্তে লক্ষ্য করিয়া সময়ের সহিত আলাদাভাবে প্লট করা যায়, তবে দুই থার্মোমিটারের দুইটি গ্রাফ রেখা পাওয়া যায় (চিত্র নং 17)। পরীক্ষার শেষে লক্ষ্য করিলে দেখা যায় ছোট ছোট বরফের টুকরা ভিতরের বেলনের জলের উপরে ভাসিতেছে, আর নীচের থার্মোমিটারের পাঠ 4° সেন্টিগ্রেডে স্থির রহিয়াছে। ইহা হইতেই বুঝা যায়, 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব সর্বোচ্চ।

এই পরীক্ষার ফল সহজেই ব্যাখ্যা করা যায়। প্রথমে জ্যাকেটের ঠাণ্ডার সংস্পর্শে বেলনের মধ্যমাংশের জলের উষ্ণতা কমিতে থাকে। ফলে যে জল ঠাণ্ডা হয় তাহা ভারী হইয়া নীচে নামে, আর নীচের থার্মোমিটারের পাঠও সঙ্গে সঙ্গে নামে। এইভাবে 4° সেন্টিগ্রেড পর্যন্ত নামে। কিন্তু ঠাণ্ডা জল কিছুতেই জ্যাকেটের উপরে উঠে না, আর উপরের পাঠও নামে না। কিন্তু মাঝখানের জল 4° সেন্টিগ্রেড পর্যন্ত নামিবার পর যখন 3° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় নামে, তখন 4° সেন্টিগ্রেডের জল অপেক্ষা ভারী না হইয়া হালকা হয় এবং নামে না, উপরেই থাকে। ফলে জ্যাকেটের উপরের জল আস্তে আস্তে ঠাণ্ডা হইতে থাকে। আস্তে আস্তে উপরের থার্মোমিটারের পাঠ নামিতে থাকে এবং অবশেষে 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা নির্দেশ করে। তখন মাঝখানের 3° সেন্টিগ্রেডের জল হালকা হওয়াতে উপরে উঠে এবং উপরের পাঠ নামাইতে থাকে। উহার নীচে নামিবার কোনও কারণ নাই। নীচের পাঠ 4° সেন্টিগ্রেডে স্থির থাকে। কিন্তু উপরের পাঠ কমার মুখে 4° সেন্টিগ্রেডে না থাকিয়া কমিতে কমিতে 0° সেন্টিগ্রেডে নামিয়া যায়। তাহার পর নীচের জল আবার ঠাণ্ডা হইতে আরম্ভ করে এবং নীচের পাঠ কমিয়া 0° সেন্টিগ্রেডে আসিয়া উপস্থিত হয়।

জলের অনন্য প্রসারণের সুফল : জলের 0° সেন্টিগ্রেড হইতে 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতাদ্বয়ের মধ্যে যে উষ্ণতাবৃদ্ধির সহিত আয়তন বৃদ্ধি না পাইয়া হ্রাস পায় ইহার একটি গুরুত্বপূর্ণ ফল মানুষ ও জীবজগতের পক্ষে উপকারী হইয়াছে। এই অনন্য প্রসারণের ফলে জলের ঘনত্ব 4° সেন্টিগ্রেডে সর্বোচ্চ। ফলে মেরু অঞ্চলের সমুদ্রের উপর বায়ুমণ্ডল শীতকালে যখন অত্যন্ত ঠাণ্ডা হয় তখন সমুদ্রের উপরের স্তর ভয়ানক ঠাণ্ডা হইয়া পড়ে। তাহার সংস্পর্শে আস্তে আস্তে তাহার তলদেশের স্তরগুলিও একে একে ঠাণ্ডা হইতে থাকে। উপরের স্তর ঠাণ্ডা হওয়া মাত্র ভারী হইয়া নীচে নামিয়া যায় এবং নীচের অপেক্ষাকৃত গরম জল উপরে উঠে। উঠিয়াই ঠাণ্ডা হইয়া নীচে নামিয়া যায়। এইভাবে

নীচের স্তরগুলি ঠাণ্ডা হইতে থাকে এবং সমুদ্রের তলদেশ সর্বাপেক্ষা ঠাণ্ডা জলে পূর্ণ হয়। কিন্তু নীচের দিকে 4° সেন্টিগ্রেড পর্যন্ত এই প্রক্রিয়া কার্যকর হয়। যখন উপরের স্তর 3° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা পাইল তখন উহা উপরেই থাকে, কারণ নীচের 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতার জলের অপেক্ষা উহা হালকা। তাহার পর উপরের ঠাণ্ডা হাওয়ার সংস্পর্শে যখন উপরের স্তর 2°C উষ্ণতায় নামে, তখনও উহা উপরেই থাকে, আর উহার নীচের স্তর উপরের স্তরের সংস্পর্শের জন্য তাপ হারাইয়া 3° সেন্টিগ্রেড হয়। কয়েকদিন ঠাণ্ডা হাওয়ার সংস্পর্শে থাকার জন্য উপরের স্তর হয়ত জমিয়া বরফ হইল, কিন্তু বরফের নীচে 0° সেন্টিগ্রেড তাহার নীচে 1° সেন্টিগ্রেড তাহার নীচে 2° সেন্টিগ্রেড তাহার নীচে 3° সেন্টিগ্রেড এবং তাহার নীচে 4° সেন্টিগ্রেডের জল পাওয়া যাইবে। যত নীচে যাওয়া যায় তত অল্প উষ্ণ জল পাওয়া যায়, এবং ফলে উপরে পুরু বরফ জমিলেও কিন্তু নীচে 4° সেন্টিগ্রেডে জল থাকায় জলজন্তু স্বচ্ছন্দে বাস করিতে পারে। সেইজন্যই বরফ কাটা জাহাজ (Ice Breaker) উপর হইতে বরফ কাটিয়া সমুদ্রকে জাহাজ চলাচলের উপযোগী করিয়া তুলিতে পারে। কিন্তু যদি জলের অনন্য প্রসারণ না হইত, তবে যত বেশী ঠাণ্ডা জল তত বেশী নীচে থাকিত, বরফও সমুদ্রের উপর কেবল ভাসিত না, একেবারে নীচ পর্যন্ত থাকিয়া যাইত। সমুদ্রে কোনও জলজন্তু থাকিতে পারিত না। জাহাজ উপর হইতে বরফ কাটিয়া সমুদ্রকে নৌ চলাচলের উপযোগী করিতে পারিত না।



চিত্র নং 18

বিভিন্ন উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব

উষ্ণতা (Temp.) °C	ঘনত্ব (Density) (gm./c.c.)	উষ্ণতা (Temp.) °C	ঘনত্ব (Density) (gm./c.c.)	উষ্ণতা (Temp.) °C	ঘনত্ব (Density) (gm./c.c.)
0	·99987	10	·99973	24	·99732
1	·99993	12	·99953	26	·99681
2	·99997	14	·99927	28	·99626
3	·99999	16	·99897	30	·99567
4	1·00000	18	·99862	32	·99505
5	·99927	20	·99823	34	·99440
6	·99288	22	·99780	36	·99371

ভিন্ন ভিন্ন উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব তৎতৎ উষ্ণতার সহিত প্লট করিয়া গ্রাফ টানিলে যে গ্রাফ রেখা পাওয়া যায় তাহা চিত্র নং 18-তে দেখান হইয়াছে। দেখা যাইতেছে 4° সেন্টিগ্রেড ঘনত্ব 1 গ্রাম/সি. সি.।

উদাহরণ ঃ 20°C-এ পারদের ঘনত্ব 13·546 গ্রাম প্রতি ঘন সেন্টিমিটার এবং উহার আয়তন প্রসারাঙ্ক ·000182 প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড। 500 ঘন সেন্টিমিটার পারদের 80°C-এ ভর কত হইবে? 500 গ্রাম ভরবিশিষ্ট পারদের 80°C-এ আয়তন কত হইবে?

মনে কর, 80°C-এ পারদের ঘনত্ব D গ্রাম প্রতি ঘন সেন্টিমিটার।

$\therefore$ $D = 13{\cdot}546\,[1 - {\cdot}000182(80-20)] = 13{\cdot}546 \times {\cdot}989$ গ্রাম/সে. মি.^{3}।

সুতরাং 80°C-এ 500 ঘন সেন্টিমিটার পারদের ভর হইবে,

$$500 \times 13{\cdot}546 \times {\cdot}989 = 6698{\cdot}497 \text{ গ্রাম}$$

এবং 500 গ্রাম ভরবিশিষ্ট 80°C-এ পারদের আয়তন হইবে,

$$\frac{500}{13{\cdot}546 \times {\cdot}989} = \frac{500}{13{\cdot}4} = 37{\cdot}33 \text{ ঘন সেন্টিমিটার।}$$

প্রশ্নমালা

1. দৈর্ঘ্য এবং আয়তন প্রসারাঙ্কের সংজ্ঞা দাও। ঐ দুইটি দৈর্ঘ্যের একক এবং তাপমাত্রার এককের উপর নির্ভর করে কিনা লেখ।

2. প্রমাণ কর যে কোন কঠিন পদার্থের আয়তন প্রসারাঙ্ক তাহার দৈর্ঘ্যের প্রসারাঙ্কের তিন গুণ।

3. একটি চ্যাপটা লোহার দণ্ড এবং একটি অনুরূপ তামার দণ্ড রিভেট্ করিয়া লাগান আছে। ঐ যুক্ত দণ্ড দুইটিকে গরম করা হইল এবং দেখা গেল ঐটি বাঁকিয়া গিয়াছে। উহার কারণ কি?

4. কলিকাতা হইতে মোগলসরাই 400 মাইল। যদি শীতকালে 36°F হইতে গ্রীষ্মে 117°F তাপমাত্রার পরিবর্তন হয়, তাহা হইলে এই দীর্ঘ রেললাইনে মোট ফাঁকা স্থান কত হইবে। লোহার প্রসারাঙ্ক 12×10^{-6} প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড।

[উত্তর। 0·21 মাইল।]

5. একটি তামার দণ্ড 50°C-এ 200·166 সে. মি. দীর্ঘ এবং 200°C-এ 200·664 সে. মি. দীর্ঘ। উহার প্রসারাঙ্ক কত? 0°C-এ উহার দৈর্ঘ্য কত?

[উত্তর। $d = {\cdot}0000166$; $l_0 = 200$ সে. মি.।]

6. দুইটি রেললাইন পর পর বসাইবার মধ্যে একটু ফাঁক রাখা হয়, যাহাতে তাপমাত্রার বৃদ্ধি হইলে ঐ ফাঁকে লাইনের দৈর্ঘ্য বাড়ে। যদি 66 ফুট লম্বা এক একটি রেললাইনের মধ্যে 0·5 ইঞ্চি ফাঁক 10°C-এ থাকে, তাহা হইলে কত ডিগ্রী তাপমাত্রায় লাইন দুইটি পরস্পরকে স্পর্শ করিবে? লোহার প্রসারাঙ্ক $= 11 \times 10^{-6}$ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড।

[উত্তর। 67·3°C.]

7. একটি কাঁসার পাত 0°C-এ 50 সে. মি. দীর্ঘ এবং 10 সে. মি. প্রস্থ। এই পাতটির পৃষ্ঠক্ষেত্র 100°C তাপমাত্রা বাড়াইলে 1·9 বর্গ সে. মি বাড়ে। এই ধাতুটির দৈর্ঘ্যের প্রসারাঙ্ক কত?

[উত্তর। 19×10^{-6} প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড।]

8. কোন কঠিন বা তরলের তাপমাত্রার সঙ্গে তাহার ঘনত্বের পরিবর্তন বিশ্লেষণ কর।

9. 30 সে মি. দীর্ঘ একটি লোহার সিলিণ্ডার 0°C-এ পারদের মধ্যে খাড়াভাবে ভাসিতেছে। যদি তাপমাত্রা বাড়াইয়া 100°C করা হয়, তবে সিলিণ্ডারের নিমজ্জিত অংশের কতটা বাড়িবে?

[0°C-এ পারদের আপেক্ষিক গুরুত্ব 13·6; লোহার আপেক্ষিক গুরুত্ব 7·6; পারদের প্রকৃত আয়তন গুণাঙ্ক $1{\cdot}82 \times 10^{-4}$ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড; লোহার প্রসারাঙ্ক $3{\cdot}51 \times 10^{-5}$ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড।]

[উত্তর। 0·19 সেন্টিমিটার।]

তৃতীয় পরিচ্ছেদ
গ্যাসের প্রসারণ
(Expansion of Gases)

3.1. গ্যাসের প্রসারণ : গরম করিলে কঠিন ও তরল পদার্থের ন্যায় গ্যাসীয় পদার্থেরও প্রসারণ হয় এবং বেশীই হয়। কিন্তু গ্যাসীয় পদার্থ এবং কঠিন ও তরল পদার্থ—ইহাদের প্রসারণের মধ্যে গুণগত পার্থক্য আছে। একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ কঠিন বা তরল পদার্থের ঘনত্ব এবং আয়তন উহার উষ্ণতা দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়, কি চাপে উহাকে রাখা হইয়াছে তাহার দ্বারা বিশেষ নিয়ন্ত্রিত হয় না। কিন্তু গ্যাস অত্যন্ত সংনমনীয়। উহাকে সামান্য বেশী চাপে রাখিলেই উহা অনেকটা সংকুচিত হয়। উহার আয়তন যথেষ্ট কমে এবং ঘনত্ব বাড়ে। সুতরাং একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোন নির্দিষ্ট আয়তন নাই। একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় (t) একটি নির্দিষ্ট চাপে (p) উহার একটি নির্দিষ্ট আয়তন (v) আছে। অর্থাৎ P, V, T এই তিনটি রাশি অঙ্গাঙ্গিভাবে জড়িত। এই তিনটি রাশি মিলিত হইয়া গ্যাসের **অবস্থা** (state) নির্ণয় করে। ইহাদের যে কোন একটিকে পরিবর্তন করিলেই অপর দুইটিও পরিবর্তিত হইবে এবং ঐ নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের অবস্থারও পরিবর্তন হইবে। বহু পরীক্ষা-নিরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে, এই অবস্থার পরিবর্তন কয়েকটি সূত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। ইহাদের বলে **গ্যাস সূত্রাবলী** (Gas Laws)। এই সূত্রগুলি হইতেছে—

(i) তাপমাত্রা স্থির রাখিয়া, চাপ পরিবর্তনের দ্বারা আয়তনের পরিবর্তন (বয়েলের সূত্র);

(ii) চাপ স্থির রাখিয়া, উষ্ণতা পরিবর্তনের দ্বারা আয়তনের পরিবর্তন (চার্লস্-এর সূত্র)।

(iii) আয়তন স্থির রাখিয়া, উষ্ণতা পরিবর্তনের দ্বারা চাপের পরিবর্তন (রেণোর চাপ সূত্র)।

3·2. বয়েলের সূত্র (Boyle's Law) : তাপমাত্রা স্থির রাখিলে, যে কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন উহার উপর প্রযুক্ত চাপের সহিত ব্যস্তানুপাতিক।

ইহার অর্থ, যদি t অপরিবর্তিত থাকে, তবে—

$$P \propto \frac{1}{V}$$

$$\text{বা, } PV = k \text{ (ধ্রুবক)} \quad \ldots \quad \ldots \quad (3{\cdot}2{\cdot}1)$$

k-র মান গ্যাসের প্রকৃতি, ভর ও উষ্ণতার উপর নির্ভর করে।

এই প্রকার প্রসারণকে বলে **সমোষ্ণ প্রসারণ** (Isothermal Expansion)। এই প্রসারণের সময় যদি গ্যাসটিকে এমন কুপরিবাহী (non-conductor) কক্ষে আবদ্ধ

রাখা হয়, যাহাতে উহার সহিত বাহিরের কোনরূপ তাপ আদান-প্রদান না হইতে পারে, তবে আবদ্ধ গ্যাসের উষ্ণতারও পরিবর্তন হয়। এই প্রসারণকে বলে **রুদ্ধতাপ প্রসারণ** (Adiabatic Expansion)। ষষ্ঠ পরিচ্ছেদে এ সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে।

3·3. **চার্লস্-এর সূত্র (Charle's Law) : সমচাপে কোন নির্দিষ্ট ভরের যে কোন গ্যাসের প্রতি এক ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধিতে, 0°সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় উহার যে আয়তন তাহার একটি নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ ($\frac{1}{273}$) করিয়া বৃদ্ধি পায়।**

ইহার অর্থ, সমচাপে কোন নির্দিষ্ট ভর গ্যাসের যদি 0° ও $t°$ সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় আয়তন হয় যথাক্রমে V_o, V_t, তবে চার্লস্-এর সূত্র অনুসারে

$$V_t = V_o(1+\gamma_p t) \quad \ldots \quad \ldots \quad (3·3·1)$$

কঠিন ও তরল পদার্থের বেলায়, তোমরা দেখিয়াছ,

$$V_t = V_o(1+\gamma t) \quad \ldots \quad (2·2·7)$$

γ_p-র মান হইবে, $$\gamma_p = \frac{V_t - V_o}{V_o t} \quad \ldots \quad \ldots \quad (3·3·2)$$

দুইটি সমীকরণ তুলনা করিলে সাদৃশ্যও দেখা যায়। γ_p-কে বলে গ্যাসের **সমচাপে আয়তন গুণাঙ্ক** (Volume Coefficient at Constant Pressure)। ইহার মান, $\frac{1}{273}$ (প্রায়)। সুতরাং—

$$V_t = V_o\left(1+\frac{t}{273}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (3·3·3)$$

আবার সাদৃশ্য থাকিলেও উভয়ের মধ্যে বৈসাদৃশ্যও আছে। সেগুলিও গুরুত্বপূর্ণ, যথা—(i) কঠিন ও তরল পদার্থের বেলায় এক এক পদার্থের আয়তন গুণাঙ্ক এক এক রকম। গ্যাসের বেলায় সব গ্যাসেরই আয়তন গুণাঙ্ক প্রায় একই।

(ii) কঠিন ও তরল পদার্থের তুলনায় গ্যাসের আয়তন গুণাঙ্ক অনেক বেশী।

(iii) আর এইজন্যই গ্যাসের আয়তন গুণাঙ্ক প্রকাশ করিতে প্রাথমিক উষ্ণতা 0° সেণ্টিগ্রেড লইতে হয়। কঠিন ও তরল পদার্থের বেলায় যে কোন উষ্ণতাকে প্রাথমিক উষ্ণতা ধরা যায়। সমীকরণ (2·2·3) কেবল কঠিন ও তরল পদার্থের বেলায় প্রযোজ্য, গ্যাসের বেলায় নয়।

3·4. **চাপ সূত্র** (Law of Pressure) : কোন গ্যাসকে নির্দিষ্ট আয়তনে আবদ্ধ রাখিয়া উষ্ণতা বৃদ্ধি করিলে উহার চাপ বৃদ্ধি পায়। এই চাপ বৃদ্ধি যে সূত্র অনুযায়ী হয়, তাহা হইল **চাপ সূত্র**। ইহা নিম্নরূপ—

আয়তন স্থির থাকিলে, কোন নির্দিষ্ট ভরের যে কোন গ্যাসের প্রতি এক ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধিতে, 0° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় উহার যে চাপ তাহার একটি নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ করিয়া বৃদ্ধি পায়।

ইহার অর্থ, সম আয়তনে কোন নির্দিষ্ট ভর গ্যাসের যদি 0° ও $t°$ সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় চাপ হয় যথাক্রমে P_o, P_t, তবে চাপ সূত্র অনুসারে,

$$P_t = P_o(1+\gamma_v.t) \quad \dots \quad \dots \quad (3\cdot4\cdot1)$$

$$\text{বা } \gamma_v = \frac{P_t - P_o}{P_o.\, t} \quad \dots \quad \dots \quad (3\cdot4\cdot2)$$

γ_v-র মান একই, অর্থাৎ $\frac{1}{273}$ (প্রায়)। সুতরাং

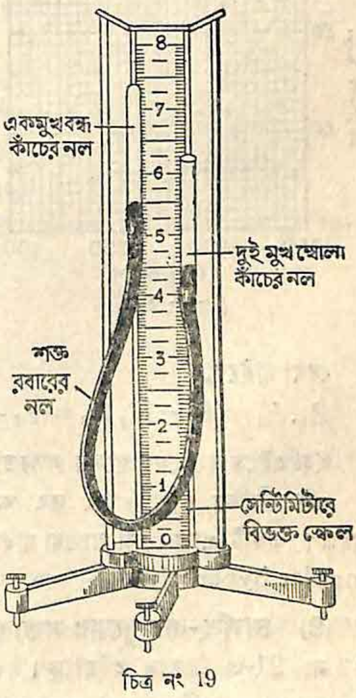
$$P_t = P_o\left(1+\frac{t}{273}\right) \quad \dots \quad \dots \quad (3\cdot4\cdot3)$$

এখানে লক্ষ্য করিবার বিষয়, $\gamma_p = \gamma_v = \frac{1}{273}$ (প্রায়)।

এই γ_v-কে বলা হয়, গ্যাসের **সম আয়তনে চাপ গুণাঙ্ক** (Pressure Coefficient at Constant Volume) বা চাপ গুণাঙ্ক।

বয়েলের সূত্র ও চার্লসের সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত করা যায়।

(1) বয়েলের সূত্রের সত্যতার পরীক্ষা (Experimental Verification of Boyle's Law) : চিত্র নং 19-এ যে যন্ত্রটি দেখা যাইতেছে তাহার একদিকে একটি বেলনাকৃতি মোটা কাঁচের নল, আর একদিকে একটি মুখ খোলা কাঁচের নল। নীচের মুখ উভয়েরই সরু ও খোলা। এই দুই নীচের মুখে শক্ত মোটা রবার নল আটকান। উভয়ে মিলিয়া একটি U-নল গঠন করে। দুই কাঁচের নল ক্লাম্পের সাহায্যে দুইটি খাড়া লোহার রডের সহিত আটকান। রড দুইটি একটি খাড়া কাঠের ফ্রেমে যুক্ত। মাঝখানে একটি খাড়া কাঠের স্কেল, তাহার দুই দিকেই খোদাই করা আছে।



চিত্র নং 19

U-নলটি প্রথমে শুষ্ক পারদ দিয়া আংশিক ভর্তি করা হয়। ধর, বাম দিকের নলটি A, আর ডান দিকেরটি B। A-র পারদের উপর কিছুটা আবদ্ধ বায়ু, B-র পারদের উপর বায়ুমণ্ডল থাকে।

প্রথমে ক্লাম্প খুলিয়া যে কোন একটি নল উঠাইয়া বা নামাইয়া উভয় পারদ লেভেল এক করা হয় এবং ক্লাম্প আটকাইয়া দেওয়া হয়। তাহার পর A-র উপরে আবদ্ধ বায়ুর আয়তন মাপা হয়। A-কাঁচনল বেলনাকৃতি বলিয়া উহার আয়তন দৈর্ঘ্যের সহিত সমানুপাতিক। সেইজন্য আয়তনের বদলে স্কেল

হইতে A ও নলের শীর্ষ লেভেল C-র উচ্চতা পার্থক্য বাহির করা হয়। ইহাই পরীক্ষার প্রথম পাঠ।

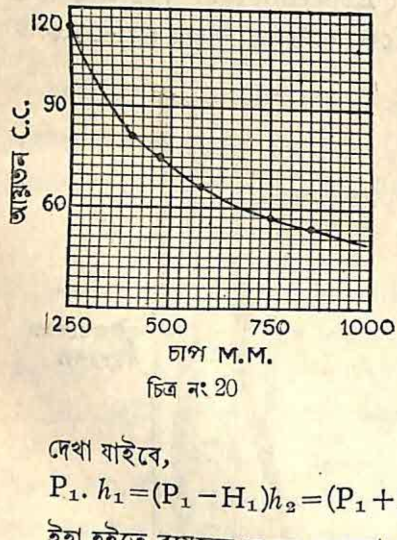
তাহার পর B-লেভেলকে A হইতে নীচে নামাইয়া আগের মত A, B ও C-র পাঠ স্কেলে লওয়া হয়। এখন আবদ্ধ বায়ুর চাপ বায়ু চাপ অপেক্ষা কম। এইভাবে আরও কয়েকটি পাঠ লওয়া যায়।

শেষে B-লেভেলকে A অপেক্ষা উঁচুতে তুলিয়া A,B ও C-র পাঠ স্কেলে লওয়া হয়। এখন আবদ্ধ বায়ুর চাপ বায়ু চাপ অপেক্ষা বেশী। এইভাবে আরও পাঠ লওয়া যায়।

এইবার এই তিন শ্রেণী পর্যবেক্ষণ হইতে চাপ (P) ও আবদ্ধ বায়ুর আয়তন (V) হিসাব করা হয়।

ধর, বায়ু চাপ $=P_1$ সে. মি. পারদ [ইহা ব্যারোমিটার দেখিয়া বাহির করা হয়]। তাহা হইলে,

প্রথম শ্রেণীর পর্যবেক্ষণে আবদ্ধ বায়ুর চাপ $=P_1$



চিত্র নং 20

আর আবদ্ধ বায়ুর আয়তন A ও C-র উচ্চতা পার্থক্যের (ধর, h_1) সহিত সমানুপাতিক। ধর, এই আয়তন $=\mathrm{K}.\,h_1$ (K = ধ্রুবক)।

দ্বিতীয় শ্রেণীর পর্যবেক্ষণে আবদ্ধ বায়ুর চাপ $=P_1-H_1$

[যদি A ও B-র উচ্চতা পার্থক্য হয় H_1 সে. মি.]

আবদ্ধ বায়ুর আয়তন $=\mathrm{K}.h_2$ (ধর)।

তৃতীয় শ্রেণীর পর্যবেক্ষণে আবদ্ধ বায়ুর চাপ $=P_1+H_2$

আবদ্ধ বায়ুর আয়তন $=\mathrm{K}.\,h_3$ (ধর)।

দেখা যাইবে,

$P_1.\,h_1=(P_1-H_1)h_2=(P_1+H_2)h_3.$

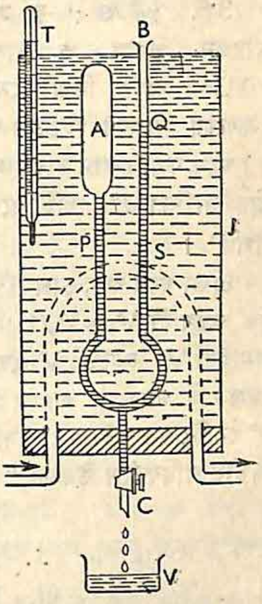
ইহা হইতে বয়েলের সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়।

এই বিভিন্ন চাপ ও তৎ তৎ আয়তন দ্বারা গ্রাফ-রেখা প্লট করিলে চিত্র 20-র অনুরূপ একটি গ্রাফ-রেখা পাওয়া যাইবে। ইহার একটি আয়তাকার পরাবৃত্ত (rectangular hyperbola)।

(2) **চার্লস্-এর সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা :** এই পরীক্ষার জন্য ব্যবহৃত যন্ত্র চিত্র নং 21-এ দেখান হইয়াছে। এখানেও একটি U-নল AB ; B মুখ খোলা ও সামান্য ফানেলাকৃতির। A মুখ বন্ধ এবং উপরটা বেলনাকৃতির।

J একটি চওড়া কাঁচের পাত্র, দুই মুখই খোলা। নীচের মুখে একটি বড় রবার

প্লাগ শক্ত করিয়া আটকান। U-নলের নীচে একটি ছোট খাড়া কাঁচের নল রবার প্লাগ ফুটা করিয়া লাগান এবং তাহার নীচে একটি কল লাগান যাহাতে ইহাকে খুলিয়া U-নলের ভিতরের কোন তরল বাহির করিয়া দেওয়া যায়। আর একটি সুপরিবাহী তামার অর্ধ-বৃত্তাকার নল (S) রবার প্লাগ দুই জায়গায় ফুটা করিয়া J-র মধ্যে ঢোকান থাকে। J-পাত্র জলে ভর্তি করা হয় এবং উপরে একটি থার্মোমিটার (T) ঝুলাইয়া দেওয়া হয়।



চিত্র নং 21

প্রথমে কল C বন্ধ করিয়া বিশুদ্ধ সালফিউরিক অম্ল ঢালিয়া U-নল আংশিক পূর্ণ করা হয়। ফলে কিছু বায়ু A-তে আবদ্ধ হয়। তাহার পর কল C খুলিয়া কিছু অম্ল বাহির করিয়া দেওয়া হয় যাহাতে A ও B লেভেল একই থাকে। তাহার পর থার্মোমিটারের পাঠ ও আবদ্ধ বায়ুর আয়তনের পাঠ লওয়া হয়। এইজন্য A-র বেলনাকৃতি অংশে উপর হইতে নীচের দিকে আয়তন অঙ্কিত করা থাকে। ধর, তাপমাত্রা হইল $t_1°$ সেন্টিগ্রেড ও আয়তন V_1 ঘন সে. মি.।

এইবার তামার অর্ধ-বৃত্তাকার নল S-এর মধ্য দিয়া বাষ্প পাঠান হইতে থাকে এবং তাপমাত্রা বাড়িতে থাকে। সঙ্গে সঙ্গে A-তে অম্ল নামে ও B-তে উপরে উঠে। ধর, তাপমাত্রা হইল $t_2°$ সেন্টিগ্রেড। তখন আবার কিছু অম্ল বাহির করিয়া দুই লেভেল সমান করা হয় ও আবদ্ধ বায়ুর নূতন আয়তনের (ধর, V_2 ঘন সে. মি.) পাঠ লওয়া হয়।

দেখা যাইবে,

$$\frac{V_1}{t_1+273}=\frac{V_2}{t_2+273}$$

বা, $\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}$ [এখানে T_1, T_2 পরম স্কেলে $t_1°$ ও $t_2°$ সেন্টিগ্রেডের তাপমাত্রা]।

ইহা হইতে চার্লস্-এর সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়।

এই পরীক্ষা হইতে γ_p-র মানও বাহির করা যায়। এজন্য একটি গ্রাফ কাগজে আয়তন ও তাপমাত্রার (সেন্টিগ্রেডের) গ্রাফ আঁকা হয় (V_1, t_1) ও (V_2, t_2)। এই দুই বিন্দু সরলরেখা দ্বারা যোগ করিয়া বাড়াইয়া দিলে উহা V-অক্ষকে যে বিন্দুতে ছেদ করিবে, তাহাই হইবে V_o বা 0° সেন্টিগ্রেডে আবদ্ধ বায়ুর আয়তন।

এখন, $\gamma_p = \dfrac{V_1 - V_0}{V_0.t_1}$ বা, $\dfrac{V_2 - V_0}{V_0.t_2}$

এইভাবে γ_p-র মান বাহির করা যায়।

3·5. γ_p ও γ_v-র সম্পর্ক: পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে, যে কোন গ্যাসের আয়তন গুণাঙ্ক ও চাপ গুণাঙ্ক উভয়েই সমান এবং উহাদের মান $\frac{1}{273}$ বা 0·00366 প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড। এই তথ্য বয়েলের, চার্লস্-এর ও চাপ—এই সূত্রত্রয়ের বিশ্লেষণ হইতেও পাওয়া যায়।

মনে কর, কোন ভরের গ্যাসের 0° সেন্টিগ্রেডে চাপ P_o ও আয়তন V_o ; আর চাপ স্থির রাখিয়া t° সেন্টিগ্রেডে আয়তন V_t, এবং আয়তন স্থির রাখিয়া t° সেন্টিগ্রেডে চাপ P_t।

এখন মনে কর, চাপ (P_o) স্থির রাখিয়া উষ্ণতা t° সেন্টিগ্রেড করা হইল। চার্লস্-এর সূত্র অনুযায়ী $V_t = V_o(1+\gamma_p t)$। এইবার উষ্ণতা t° সেন্টিগ্রেড স্থির রাখিয়া আয়তন কমাইয়া V_t হইতে V_o-তে আনা হইল। তাহা হইলে চাপ যাহা হইবে তাহাই হইত যদি গ্যাসকে প্রথমে আয়তন না বদলাইয়া (অর্থাৎ V_o রাখিয়া) কেবল উষ্ণতা 0° সেন্টিগ্রেড হইতে t° সেন্টিগ্রেড করা হইত। অর্থাৎ তাহা হইলে চাপ হইবে P_t। দ্বিতীয় পরিবর্তনে উষ্ণতা t° সেন্টিগ্রেডে রাখা হইতেছে। সুতরাং বয়েলের সূত্র অনুযায়ী,

$$P_o.V_t = P_t.V_o$$

$$\therefore\ P_o.V_o(1+\gamma_p t) = P_t.V_o$$

$$\text{বা,}\ P_t = P_o(1+\gamma_p.t) \qquad \cdots\ \cdots\ (3·5·1)$$

কিন্তু যদি এই চাপ (P_t) আয়তন স্থির রাখিয়া কেবল উষ্ণতা বদলাইয়া সৃষ্টি করা হয়, তবে গ্যাসীয় চাপ সূত্র অনুযায়ী,

$$P_t = P_o(1+\gamma_v t) \qquad \cdots\ \cdots\ (3·5·2)$$

∴ সমীকরণ (3·5·1) ও (3·5·2) হইতে,

$$\gamma_p = \gamma_v.$$

3·6. উষ্ণতার পরম স্কেল (Absolute Scale of Temperature) : পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে $\gamma_p = \dfrac{1}{273}$; সুতরাং যে কোনও গ্যাসের ক্ষেত্রে,

$$V_t = V_o\left(1+\frac{t}{273}\right)$$

সুতরাং −10° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় আয়তন হইবে $V_{-10} = V_o\left(1-\dfrac{10}{273}\right)$

−20° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় আয়তন হইবে $V_{-20} = V_o\left(1-\dfrac{20}{273}\right)$

−273° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় আয়তন হইবে $V_{-273} = V_o\left(1-\dfrac{273}{273}\right)$

$$= 0$$

দেখা যাইতেছে, -273° সেন্টিগ্রেড অপেক্ষা কম উষ্ণতা গ্যাস থার্মোমিটারে মাপা যাইবে না। প্রকৃতপক্ষে -273° সেন্টিগ্রেডও মাপা যাইবে না, কারণ উহা পৌঁছিবার পূর্বেই সমস্ত গ্যাস তরল ও শেষে কঠিন পদার্থে পরিণত হইবে। কিন্তু ইহা লক্ষ্য করিবার বিষয় যে যদি তাহা না হইত, তাহা হইলেও গ্যাস থার্মোমিটার দ্বারা -273° সেন্টিগ্রেডের কম উষ্ণতা কিছুতেই মাপা যাইত না। আবার গ্যাসীয় চাপ সূত্র অনুযায়ী স্থির আয়তনের কোনও গ্যাসের চাপও শূন্য হইত। অর্থাৎ -273° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় যে কোনও গ্যাসের আয়তন ও চাপ কিছুই থাকিতে পারে না।

স্পষ্টই দেখা যাইতেছে -273° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতাকে পরম প্রাথমিক উষ্ণতা বা **পরম শূন্য** (absolute zero) উষ্ণতা হিসাবে ব্যবহার করা যায়। সেন্টিগ্রেড স্কেলে বরফের গলনাঙ্ককে 0°, এবং ফারেনহাইট স্কেলে উহাকে 32° বলা হয়। এগুলি মনুষ্য-সৃষ্ট শূন্য (arbitrary zero)। কিন্তু -273° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতাকে প্রকৃতি-সৃষ্ট শূন্য হিসাবে ধরা চলে। এই পরম শূন্য হইতে স্কেল যদি ধরা হয় এবং এক এক ডিগ্রী যদি 1 ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডের সমান ধরা হয়, তাহা হইলে একটি অতি সুবিধাজনক উষ্ণতা স্কেল পাওয়া যায়। এই স্কেলের নাম **উষ্ণতার পরম স্কেল** (absolute scale of temperature)। ফলে যে কোনও উষ্ণতায়—

পরম স্কেলের পাঠ = সেন্টিগ্রেড স্কেলের পাঠ + 273

খুব সূক্ষ্মভাবে মাপিলে পরম শূন্য = $-273{\cdot}18^\circ$ সেন্টিগ্রেড। আর এই স্কেল লর্ড কেলভিন প্রথম প্রচলন করিয়াছিলেন বলিয়া ইহার আর এক নাম **কেল্‌ভিন স্কেল**।

3·7 পরম স্কেলের সুবিধা ঃ চার্লস-এর সূত্র ও চাপ সূত্রের বিকল্প রূপ ঃ চার্লস্‌-এর সূত্রানুযায়ী যদি t ও t'° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় কোনও গ্যাসের আয়তন হয় যথাক্রমে V, V′ (স্থির চাপে), তবে—

$$V = V_0\left(1+\frac{t}{273}\right) = V_0.\frac{273+t}{273} = V_0.\frac{T}{273}.$$

অনুরূপভাবে, $V' = V_0.\dfrac{T'}{273}$ (যদি T ও T′ যথাক্রমে t ও t'-এর পরম স্কেলে মান হয়)

$$\therefore \quad \frac{V}{V'} = \frac{T}{T'}$$

সুতরাং চার্লস্‌-এর সূত্র এইভাবে বলা চলে, **যে কোনও ভরের গ্যাসের স্থির চাপে আয়তন উহার পরম উষ্ণতার সমানুপাতিক।**

আবার, গ্যাসীয় চাপ সূত্রানুযায়ী, যদি t ও t' সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় কোনও গ্যাসের চাপ হয় যথাক্রমে P, P′ (স্থির আয়তনে), তবে—

$$P = P_0.\frac{273+t}{273} = P_0.\frac{T}{273}$$

$$P' = P_0.\frac{T'}{273} \quad \text{বা,} \quad \frac{P}{P'} = \frac{T}{T'}.$$

মনে কর, এইবার চাপ (P′) স্থির রাখিয়া উষ্ণতা T হইতে T′ করা হইল। চার্লস্-এর সূত্র অনুসারে, আয়তনও V_1 হইতে V′ হইবে।

$$\therefore \frac{V_1}{V'}=\frac{T}{T'}$$

$$\therefore \frac{PV}{P'}\cdot\frac{1}{V'}=\frac{T}{T'} \quad \text{বা,} \quad \frac{PV}{T}=\frac{P'V'}{T'}.$$

ইহার অর্থ, যে কোন ভরের গ্যাসের চাপ ও আয়তনের গুণফল উহার পরম উষ্ণতার সহিত সমানুপাতিক।

উদাহরণ. 1. দুইটি সমান আকারের হাইড্রোজেনপূর্ণ পাত্র একটি নল দ্বারা সংযুক্ত। এই নলের মধ্যস্থানে একটি ছোট পারদ স্তম্ভ দুই দিকের হাইড্রোজেনকে পৃথক করিয়া রাখিয়াছে। একটি পাত্রে হাইড্রোজেনের উষ্ণতা 0° সেন্টিগ্রেড, অপর পাত্রে 20° সেন্টিগ্রেড। যদি উভয় পাত্রেরই 10° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধি করা হয়, তবে পারদ স্তম্ভ কি সরিয়া যাইবে? যদি হয়, তবে কোন্‌দিকে এবং যে কোনও পাত্রের আয়তনের কত ভগ্নাংশ আয়তন সরিয়া যাইবে?

ধর, উভয়ের আয়তন V, চাপ P ; উহাদের উষ্ণতা যথাক্রমে 273° A, 293° A ;
ধর, উষ্ণতাবৃদ্ধির ফলে উহাদের চাপ হইল যথাক্রমে P_1, P_2 ; নূতন উষ্ণতা হইল 283° A, 303° A ;
যেহেতু আয়তন একই,

$$\therefore \frac{P}{273}=\frac{P_1}{283} \text{ বা, } P_1=P\frac{283}{273}$$

$$\frac{P}{293}=\frac{P_2}{303} \text{ বা, } P_2=P\frac{303}{293}$$

$$\therefore P_1>P_2$$

সুতরাং পারদ স্তম্ভ প্রথম হইতে দ্বিতীয় পাত্রের দিকে সরিয়া যাইবে। ধর, পারদ স্তম্ভ x আয়তন সরিয়া যায়। তাহার ফলে উভয়ের চাপ একই হইবে। ধর, এই চাপ P′ ;
বয়েলের সূত্র অনুযায়ী,

$$P'(V+x)=P_1V$$

$$P'(V-x)=P_2V$$

$$\therefore \frac{V+x}{V-x}=\frac{P_1}{P_2} \text{ বা, } \frac{x}{V}=\frac{P_1-P_2}{P_1+P_2}$$

$$\therefore x=V\frac{P_1-P_2}{P_1+P_2}\text{।}$$

2. একটি সম-প্রস্থচ্ছেদের সরু কাঁচের নলে 27° সেন্টিগ্রেড-এ কিছু আবদ্ধ বায়ুর একদিকে বদ্ধ মুখ এবং অপর দিকে একটি 4 সে. মি. দীর্ঘ পারদের সূত্র আছে। নলের শেষোক্ত মুখটি খোলা। যখন নলটি খাড়াভাবে উন্মুক্ত মুখ উপরে রাখিয়া ধরা হয় তখন আবদ্ধ বায়ু স্তম্ভের দৈর্ঘ্য 9 সে. মি. ; এবং নলটি উল্টাইয়া ধরিলে ঐ স্তম্ভের দৈর্ঘ্য 10 সে. মি.। (a) বায়ু চাপ কত বাহির কর। (b) নলটি উল্টাইয়া ধরিলে কত উষ্ণতায় আবদ্ধ বায়ু স্তম্ভের দৈর্ঘ্য 9 সে. মি. হইবে? [I. I. T. Adm. 1964]

ধর, আবদ্ধ বায়ুর চাপ, নল সোজা থাকিলে P_1, এবং নল উল্টা করিয়া ধরিলে P_2 ; আর বায়ুর চাপ P।

এখন, পারদ স্তম্ভের দরুন চাপ হইবে 4 সে. মি. পারদ এবং এই চাপ পারদ উহার নীচে প্রয়োগ করিবে।

সুতরাং প্রথম ক্ষেত্রে $P+4$ সে. মি. পারদ $=P_1$ ... ... (i)

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে $P=P_2+4$ সে. মি. পারদ ... ... (i)

বা, $P-4$ সে. মি. পারদ $=P_2$ ... ... (ii)

$\therefore$ $P_1-P_2=8$ সে. মি. পারদ ... ... (ii)

দুই ক্ষেত্রে একই পারদ স্তম্ভ একই উষ্ণতায় 9 ও 10 সে মি. দীর্ঘ হয়।

$\therefore$ বয়েলের সূত্রানুযায়ী $P_1.9=P_2.10$

বা, $P_2=0{\cdot}9P_1$

$\therefore$ $P_1-P_2=0{\cdot}1P_1=8$ সে. মি. পারদ।

$\therefore$ $P_1=80$ সে. মি. পারদ এবং $P_2=72$ সে. মি. পারদ।

আবার (i) ও (ii) হইতে $2P=P_1+P_2$; বা, $P=76$ সে. মি পারদ।

(*b*) ধর, নল উল্টাইয়া উষ্ণতা বদলাইয়া $t°$ সেন্টিগ্রেড করা হইলে বায়ু স্তম্ভের দৈর্ঘ্য 9 সে. মি.। এই পরিবর্তনের সময় চাপ একই থাকিল, কিন্তু উষ্ণতা বদলাইল।

চার্লস্-এর সূত্রানুযায়ী,

$$\frac{10}{273+27}=\frac{9}{273+t}$$

$$\therefore\ 273+t=\frac{300\times 9}{10}=270$$

$\therefore$ $t=30°$ সেন্টিগ্রেড।

প্রশ্নমালা

1. বয়েলের সূত্রের সংজ্ঞা দাও। একটি পরীক্ষা দ্বারা ঐ সূত্রের সত্যতা প্রমাণ কর।

2. চরম তাপমাত্রার স্কেল কাহাকে বলে? ফারেনহাইট স্কেলে চরম স্কেলের শূন্য ডিগ্রীর মান কত হইবে?

3. চার্লস্-এর সূত্র কি? একটি সরল পরীক্ষা দ্বারা ঐ সূত্রের সত্যতা প্রমাণ কর।

4. একটি গ্যাসীয় পদার্থকে 18°C হইতে উষ্ণতা বাড়াইয়া এমন একটি তাপমাত্রায় লওয়া হইল যে উহার আয়তন দ্বিগুণ হইয়া গেল। ঐ তাপমাত্রা কত?

[উত্তর। 299°C.]

5. একটি গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন গুণাঙ্ক কিভাবে পরীক্ষা দ্বারা বাহির করা যায়?

6. এক লিটার হাইড্রোজেনের সাধারণ তাপমাত্রা ও চাপে 1·293 গ্রাম ওজন পাওয়া যায়। ঐ গ্যাসের 27°C এবং 75 সে. মি. চাপে এক লিটারের ওজন কত?

[উত্তর। 0·8 গ্রাম।]

7. 10° সেন্টিগ্রেড ও 750 মি. মি. চাপে বায়ুর ঘনত্বের সহিত 15° সেন্টিগ্রেড ও 760 মি. মি. চাপে উহার ঘনত্বের তুলনা কর। [উত্তর 5400 : 5377]

8. একটি ছিপিবদ্ধ বোতলে 770 মি. মি. পারদ চাপে এবং 20° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় বায়ু আবদ্ধ আছে। একটি আগুনের পাশে উহাকে রাখা হইয়াছে এবং উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইয়া 200° সেন্টিগ্রেড হইয়াছে। যদি বায়ুতে উন্মুক্ত প্রস্থচ্ছেদ হয় 9 বর্গ সে. মি., তবে ঐ ছিপিকে বহিষ্কৃত করিতে কত বল লাগিবে?

($g=980$; পারদের $P=13{\cdot}6$) [উঃ $5{\cdot}67\times 10^6$ ডাইন]

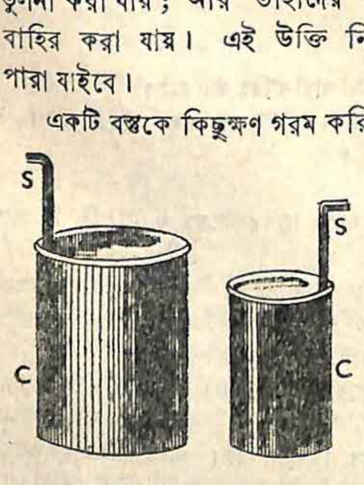
9. একদিন ব্যারোমিটারের পাঠ 76 সে. মি., উষ্ণতা 10° সেন্টিগ্রেড। একটি খনির নীচে (উষ্ণতা 27° সেন্টিগ্রেড) লইয়া গেলে ব্যারোমিটারের পাঠ 4 সে. মি. বৃদ্ধি পায়। খনির নীচে বায়ুর ঘনত্বের সহিত পৃথিবীপৃষ্ঠে উহার ঘনত্বের অনুপাত বাহির কর। [উঃ 0·993 : 1]

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

ক্যালরিমিতি
(Calorimetry)

4·1. তাপ ও তাপ-পরিমাণ : তোমরা আগেই পড়িয়াছ যে তাপ শক্তিরই একটি রূপ। প্রথম পরিচ্ছেদে তাপ ও উষ্ণতার মধ্যে পার্থক্য কি তাহা পড়িয়াছ। কোনও বস্তুতে কত তাপ আছে তাহা নির্ভর করিবে বস্তুর ভরের উপর, বস্তুর উষ্ণতার উপর এবং বস্তু যে পদার্থে তৈয়ারী তাহার প্রকৃতির উপর। ইহার কারণ কোনও বস্তুকে তাপ দিলে বস্তুর প্রতি ভরকণা এই তাপ সমান ভাগে ভাগ করিয়া লইবে এবং প্রতি ভরকণা যে পরিমাণ তাপ পাইল তাহার সমানুপাতে উত্তপ্ত হইবে। কোনও বস্তুকে তাপ প্রদান করিলে তাহার প্রত্যক্ষ ফল হইবে এই যে সেই বস্তুর তাপ-মাত্রা বা উষ্ণতা বাড়িবে। তবে ইহাও ঠিক (অভিজ্ঞতা হইতে বলা যায়) যে, যদি কোনও কঠিন বস্তু তাহার গলনাঙ্কে (বা যে উষ্ণতায় উহা গলিয়া তরল হয়) থাকে তবে তাহাকে তাপদান করিলে সেই তাপ তাহার উষ্ণতা বৃদ্ধি করিবে না, তাহাকে তরলীভূত করিবে মাত্র। আবার যদি কোনও তরল তাহার স্ফুটনাঙ্কে (বা যে উষ্ণতায় উহা বাষ্পীভূত হয়) থাকে, তবে তাহাকে তাপদান করিলে সেই তাপ তাহার উষ্ণতা বৃদ্ধি করিবে না, তাহাকে বাষ্পীভূত করিবে মাত্র। কিন্তু যে কোনও বস্তুকে যে কোন উষ্ণতায় (কেবল গলনাঙ্ক বা স্ফুটনাঙ্ক ব্যতীত) যে কোনও পরিমাণ তাপদান করিলে তাহার সমানুপাতে কিছুটা উষ্ণতা বৃদ্ধি হইতে বাধ্য। উষ্ণতা বৃদ্ধি (বা হ্রাস) থার্মোমিটারের সাহায্যে অতি সহজেই মাপা যায়। সুতরাং দুই তাপ-পরিমাণ সহজেই তুলনা করা যায় ; আর তাহাদের একটির পরিমাণ জানিলে আর একটির পরিমাণ বাহির করা যায়। এই উক্তি নিম্নের উদাহরণ হইতে স্পষ্টই উপলব্ধি করিতে পারা যাইবে।

একটি বস্তুকে কিছুক্ষণ গরম করিয়া দেখা গেল উহার উষ্ণতা 22° সেন্টিগ্রেড হইতে বাড়িয়া 32°সেন্টিগ্রেড হইয়াছে। কিছুক্ষণ পর বস্তুটি ঠাণ্ডা হইয়া ধর 25° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা পাইল। আবার কিছুক্ষণ গরম করিয়া দেখা গেল উহার উষ্ণতা 25° সেন্টিগ্রেড হইতে বাড়িয়া 40° সেন্টিগ্রেড হইয়াছে। প্রথম ক্ষেত্রে উষ্ণতাবৃদ্ধি 10° সেন্টিগ্রেড, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে 15° সেন্টিগ্রেড। সুতরাং তাপ এবং তাপের প্রবেশ উভয়েই অদৃশ্য হইলেও আমরা বলিতে পারি, প্রথম ক্ষেত্রে গরম করাতে বস্তুতে যত পরিমাণ তাপ প্রবেশ করিয়াছিল তাহার 15/10 বা $1\frac{1}{2}$ গুণ তাপ দ্বিতীয় ক্ষেত্রে প্রবেশ করিয়াছে। প্রথম



চিত্র নং 22 : ক্যালরিমিটার

ক্ষেত্রের তাপ পরিমাণকে যদি একক ধরা হয় তাহা হইলে দ্বিতীয় ক্ষেত্রের তাপ পরিমাণ হইবে $1\frac{1}{2}$ একক।

সুতরাং তাপ এইভাবে পরিমাপযোগ্য।

এই যোগ-বিয়োগ দ্বারা তাপের পরিমাণ নির্ধারণ করাকে বলে **ক্যালরিমিতি** (Calorimetry)। সাধারণতঃ একটি পাত্রের সাহায্যে ক্যালরিমিতিক পরীক্ষা-নিরীক্ষা করা হয়। এই পাত্রকে বলে **ক্যালরিমিটার** (Calorimeter) [চিত্র নং 22]।

একক তাপ (Unit of Heat) : পূর্বেই উল্লেখ করা হইয়াছে, কোন বস্তুকে তাপ দিলে উহার উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়। একই পরিমাণ তাপ 10 গ্রাম তামার যতটা উষ্ণতা বৃদ্ধি করিবে, 20 গ্রাম তামার তাহার অর্ধেক উষ্ণতা বৃদ্ধি করিবে। আবার সেই পরিমাণ তাপই 10 গ্রাম লোহার অনুরূপ উষ্ণতা বৃদ্ধি করিবে। এই শেষোক্ত উষ্ণতা বৃদ্ধির সহিত প্রথমোক্ত উষ্ণতা বৃদ্ধির কোন সম্পর্ক নাই। সুতরাং যে কোন নির্দিষ্ট পদার্থের একটি নির্দিষ্ট ভরকে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ তাপ লাগিবে উহাকেই একক তাপ ধরিয়া লওয়া যায়। কিন্তু অন্যান্য ভৌত বিষয়ের এককের সহিত সঙ্গতি রাখিবার জন্য এবং কাজের সুবিধার জন্য এক গ্রাম বিশুদ্ধ জলের এক ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ তাপ লাগে তাহাকে বলা হয় **একক তাপ**। এই এককের নাম **ক্যালরি**। আর এক নাম ডিগ্রী ক্যালরি।

ক্যালরি বহুল প্রচারিত তাপের একক। তবে অন্যান্য এককেরও প্রচলন আছে, যদিও খুবই সীমাবদ্ধ। এক পাউণ্ড জলের এক ডিগ্রী ফারেনহাইট উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে প্রয়োজনীয় তাপকে বলে **ব্রিটিশ-তাপ একক** (British Thermal Unit বা B. Th.U.) ; ইহা অপেক্ষাকৃত বড় একক। এঞ্জিনিয়ারদের কাজে অনেক সময় এই একক ব্যবহার করা হয়। আবার এক পাউণ্ড জলের এক ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে প্রয়োজনীয় তাপকে বলা হয় পাউণ্ড-ডিগ্রী-সেন্টিগ্রেড। গ্যাস এঞ্জিনিয়ারগণ আর একটি অত্যন্ত বড় তাপ একক ব্যবহার করেন—উহার নাম **থার্ম** (Therm) ; উহা হইতেছে 1000 পাউণ্ড জলের 100 ডিগ্রী ফারেনহাইট উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে প্রয়োজনীয় তাপ।

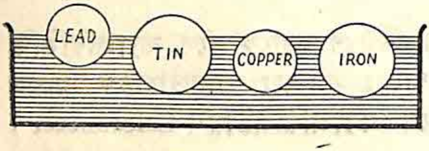
তোমরা জান, 1 পাউণ্ড = 453·6 গ্রাম ; 1° ফারেনহাইট = $\frac{5}{9}^\circ$ সেন্টিগ্রেড।

∴ 1 ব্রিটিশ-তাপ-একক = 453·6 × $\frac{5}{9}$ = 252 ক্যালরি ;

1 পাউণ্ড-ডিগ্রী-সেন্টিগ্রেড = 1·8 ব্রিটিশ-তাপ-একক = 453·6 ক্যালরি।

আপেক্ষিক তাপ : একই ভরের ভিন্ন ভিন্ন পদার্থের বস্তুর একই উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে ভিন্ন ভিন্ন পরিমাণ তাপের প্রয়োজন। আবার একই উষ্ণতা বা তাপমাত্রা হ্রাস করিলে ভিন্ন ভিন্ন পরিমাণ তাপের নির্গমন হয় (চিত্র নং 23)। একটি

ট্রে-র মধ্যে ইহার কানা পর্যন্ত মোম জমাইয়া রাখা হয়। তাহার পর, একই ভরের কয়েকটি বিভিন্ন ধাতুর গোলক যেমন সীসা, টিন, তামা, লোহা ইত্যাদি ফুটন্ত জলে ডুবাইয়া একই তাপমাত্রায় রাখা হয়। শেষে ঐ গোলকগুলি দ্রুত তুলিয়া মোমের উপর ছাড়িয়া দেওয়া হয়। দেখা যায়, গোলকগুলির বর্জিত তাপ দেওয়ার ফলে মোম যতই গলে, গোলকগুলি তরল মোমের মধ্যে ততই ডুবিতে থাকে। কিছুক্ষণ বাদে মোম শক্ত হইলে গোলকগুলি শক্ত হইয়া আঁটিয়া যায়। তখন দেখা যায়, এক এক গোলক মোমের মধ্যে কম বেশী ডুবিয়াছে; অথচ উষ্ণতা হ্রাস সকলের একই হইয়াছে। সুতরাং সম ওজনের বিভিন্ন পদার্থের তাপ গ্রহণ বা তাপ বর্জন ক্ষমতা ভিন্ন ভিন্ন রূপ।



চিত্র নং 23

যে কোন পদার্থের এক গ্রাম ভরের বস্তুর এক ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতাবৃদ্ধি করিতে যত ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হয়, তাহাকে বলে ঐ পদার্থের **আপেক্ষিক তাপ।**

সুতরাং যদি কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ হয় s, তাহা হইলে ঐ পদার্থের m গ্রাম ভরের t° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে প্রয়োজনীয় তাপ হইবে—

$$Q = mst \text{ ক্যালরি} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4{\cdot}1{\cdot}1)$$

যদি ঐ বস্তুর t° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা হ্রাস পায়, তবে ত্যক্ত তাপ হইবে একই, অর্থাৎ mst ক্যালরি।

আপেক্ষিক তাপের আর একরকম সংজ্ঞা দেওয়া যাইতে পারে, যথা—

কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ হইতেছে সেই পদার্থের যে কোন ভরের যে কোন উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ এবং সমান ভর জলের সমান উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপের অনুপাত।

সুতরাং—

$$s = \frac{m \text{ গ্রাম পদার্থের } t^\circ \text{ সেন্টিগ্রেড উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}}{m \text{ গ্রাম জলের } t^\circ \text{ সেন্টিগ্রেড উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}}$$

$$= \frac{1 \text{ গ্রাম পদার্থের } 1^\circ \text{ সেন্টিগ্রেড উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}}{1 \text{ গ্রাম জলের } 1^\circ \text{ সেন্টিগ্রেড উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}}$$

$$= \frac{1 \text{ গ্রাম পদার্থের } 1^\circ \text{ সেন্টিগ্রেড উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}}{1 \text{ ক্যালরি}}$$

$$= \frac{1 \text{ পাউণ্ড পদার্থের } 1^\circ \text{ ফারেনহাইট উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীর তাপ}}{1 \text{ ব্রিটিশ-তাপ-একক}}$$

তাপের বিভিন্ন একক ব্যবহার করা হইলেও আপেক্ষিক তাপের ক্ষেত্রে সমীকরণ (4·1·1)-ই প্রযোজ্য।

যদি কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ হয় s, আর m পাউণ্ড ভরকে t° ফারেনহাইট উত্তপ্ত করিতে হয়, তবে প্রয়োজনীয় তাপ হইবে—

$$Q = mst \text{ ব্রিটিশ-তাপ-একক।}$$

জলের আপেক্ষিক তাপ : জলের আপেক্ষিক তাপ এক ধরা হয়। অন্যান্য পদার্থের আপেক্ষিক তাপ উহা অপেক্ষা অনেক কম। ইহার বিশেষ তাৎপর্য আছে। কারণ, জল তাপের সংগ্রহশালা হিসাবে কার্য করে। জলকে গরম করিতে প্রচুর তাপ লাগে; জলকে ঠাণ্ডা করিলে প্রচুর তাপ পাওয়া যায়। সেইজন্য সূর্যের আলোকে জল বিশেষ গরম হয় না, অথচ অন্যান্য জিনিস সহজেই অত্যন্ত উত্তপ্ত হয়। এইজন্যই সমুদ্রের উপকূলবর্তী অঞ্চল নাতিশীতোষ্ণ। আবার, কোনও বস্তুকে উপযুক্ত-ভাবে গরম করিতে হইলে বস্তুটিকে একটি পাত্রে রাখিতে হয় এবং ঐ পাত্রটি জলের মধ্যে রাখিয়া ঐ জলকে গরম করা হয়। সোজাসুজি ঐ বস্তুকে গরম করিলে উহার উষ্ণতা নিয়ন্ত্রণাধীন রাখা কষ্টসাধ্য হয়।

তাপ ধারণ ক্ষমতা বা তাপগ্রাহিতা (Thermal Capacity) এবং জলবিকল্প (Water Equivalent) : কোনও বস্তুর (পদার্থের নহে) একক উষ্ণতাবৃদ্ধি করিতে যে তাপের প্রয়োজন হয়, তাহাকে ঐ বস্তুর তাপগ্রাহিতা বা তাপ ধারণ ক্ষমতা বলে। যদি বস্তুটির ভর হয় m. গ্রাম, যে পদার্থে উহা তৈয়ারী তাহার আপেক্ষিক তাপ হয় s, এবং উষ্ণতাবৃদ্ধির একক হয় 1° সেন্টিগ্রেড, তবে বস্তুর তাপ-গ্রাহিতা হইবে—

$$m \times s \times 1 = ms \text{ ক্যালরি } 1^\circ \text{ সেন্টিগ্রেড}$$

(যদি ভর হয় m পাউণ্ড এবং উষ্ণতাবৃদ্ধির একক হয় 1° ফারেনহাইট, তবে তাপগ্রাহিতা হইবে ms ব্রিটিশ-তাপ-একক 1° ফারেনহাইট।)

এই সংজ্ঞানুসারে, **কোনও পদার্থের আপেক্ষিক তাপকে বলা হয় উহার প্রতি একক ভরের তাপগ্রাহিতা।** আবার কোনও পদার্থের প্রতি একক আয়তনের তাপগ্রাহিতা হইতেছে ঐ পদার্থের একক আয়তনের একক উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ। যদি একক উষ্ণতা বৃদ্ধি 1° সেন্টিগ্রেড হয়, তবে উহা হইবে পদার্থের ঘনত্ব ও আপেক্ষিক তাপের গুণফল, কারণ একক আয়তনের ভর হইতেছে ঘনত্ব বা ρ।

কোনও বস্তুর 1° সেন্টিগ্রেড (বা একক) উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ যে ভরের জলের 1° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধি করে সেই ভরকে উক্ত বস্তুর **জলবিকল্প** (Water Equivalent) বলে।

ধর, কোনও বস্তুর ভর $= m$ গ্রাম ;

উহার পদার্থের আপেক্ষিক তাপ $= s$

তাহা হইলে বস্তুর 1° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে লাগিবে ms ক্যালরি তাপ।

আবার, ms গ্রাম জলের 1° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে লাগিবে $(ms)\times 1\times 1$ $=ms$ ক্যালরি। সুতরাং বস্তুর জলবিকল্প ms গ্রাম।

দেখা যাইতেছে, কোনও বস্তুর তাপগ্রাহিতা ও জলবিকল্প একই একক পদ্ধতিতে একই সংখ্যা দ্বারা প্রকাশিত হইবে। কিন্তু তাপগ্রাহিতা একটি তাপ পরিমাণ, আর জলবিকল্প একটি ভর পরিমাণ।

4·2. ক্যালরিমিতিক পরীক্ষার মূলনীতি ঃ সমীকরণ (4·1·1)-কে অবলম্বন করিয়া ক্যালরিমিটারের সাহায্যে নানা পরীক্ষার দ্বারা কোন তাপের পরিমাণ, কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ, কোন বস্তুর তাপগ্রাহিতা ও জলবিকল্প, কোন বস্তুর উষ্ণতা প্রভৃতি বাহির করা যায়। সমস্ত পরীক্ষা একই বিশেষ ধরনের **মিশ্রণ পদ্ধতি** (Method of mixtures)।

দুইটি ভিন্ন উষ্ণতায় দুইটি বস্তুকে সংস্পর্শে রাখিলে তাহাদের মধ্যে তাপের আদান-প্রদান হইয়া উভয়েই একটি মাঝামাঝি অন্তিম উষ্ণতায় আসে। তাহার পর নির্ণেয় রাশি হিসাব করিয়া বাহির করা হয়।

ধর, একটি ক্যালরিমিটারের ভর $=m$ গ্রাম
ঐ „ আপেক্ষিক তাপ $=s$
একটি তরল উহাতে রাখা হইয়াছে, যাহার ভর $=m_1$ গ্রাম
উহার আপেক্ষিক তাপ $=s_1$
উহার উষ্ণতা $=t_1^\circ$ সেন্টিগ্রেড
একটি বস্তু (কঠিন বা তরল) উহাতে ঢালা হইল
যাহার ভর $=m_2$ গ্রাম
আপেক্ষিক তাপ $=s_2$
এবং উষ্ণতা $=t_2^\circ$ সেন্টিগ্রেড
মিশ্রণের পরে অন্তিম উষ্ণতা $=t^\circ$ সেন্টিগ্রেড।

তাহা হইলে—

ত্যক্ত তাপ=গৃহীত তাপ

$m_2s_2(t_2-t)$ ক্যালরি$=(ms+m_1s_1)\,(t-t_1)$ ক্যালরি ··· (4·2·1)

এখানে m, m_1, m_2, s, s_1, s_2, t, t_1, t_2—এই নয়টি রাশি লইয়া সমীকরণটি গঠিত। m, m_1, m_2 ওজন করিয়া বাহির করা হয়; t, t_1, t_2 থার্মোমিটার দ্বারা বাহির করা হয়। s, s_1, s_2—এই তিনটির মধ্যে যে কোন দুইটি জানা থাকিলে তৃতীয়টি হিসাব করিয়া বাহির করা হয়। যদি ক্যালরিমিটারের তাপগ্রাহিতা বা জলবিকল্প বাহির করিতে হয় তবে উহার ওজন ও আপেক্ষিক তাপ জানিবার প্রয়োজন নাই। বাকী সাতটি রাশি জানিতে হইবে। তাহা হইলেই হিসাব করিয়া (ms)-এর মান বাহির হইবে। ক্যালরিমিতিক পরীক্ষার দ্বারা কোন পদার্থের লীন তাপও বাহির করা হয়। ষষ্ঠ পরিচ্ছেদে এ সম্বন্ধে আলোচনা করা হইয়াছে।

ক্যালরিমিতিক পরীক্ষায় একটি বড় অনিশ্চয়তা থাকে। তাহা হইল, গরম বস্তুর সংস্পর্শে যখন উষ্ণতা ঘরের উষ্ণতা অপেক্ষা বাড়িতে থাকে তখনই ক্যালরিমিটার ও তাহার ভিতরের তরল হইতে তাপ বিকিরণ (radiation) হয় এবং অন্তিম উষ্ণতা যতটা হওয়া উচিত তাহা না হইয়া কিছু কম হয়। এজন্য ক্যালরিমিটারের চারিদিকে ফেল্ট (Felt) বা ঐ ধরনের কু-পরিবাহী আবরণ দেওয়া হয় এবং তাহার উপরেও একটি শীতলীভবন পরীক্ষার (Cooling Experiment) দ্বারা কতটা তাপ বিকিরণ হইল তাহা বাহির করিয়া লওয়া হয়।

প্রশ্নমালা

1. একটি ক্যালরিমিটারে 28°C তাপমাত্রায় 33 গ্রাম জল আছে। ঐ ক্যালরিমিটারে 57°C তাপমাত্রায় 44 গ্রাম জল ঢালিয়া ভাল করিয়া মিশাইয়া দেওয়া হইল। যদি অন্তিম তাপমাত্রা 43°C হয়, তবে ক্যালরিমিটারের জলবিকল্প কত ?

[উত্তর। 11·07 গ্রাম।]

2. একটি সীসার টুকরা 99°C তাপমাত্রায় একটি ক্যালরিমিটারের মধ্যে ফেলিয়া দেওয়া হইল। ঐ ক্যালরিমিটারে 15°C তাপমাত্রায় 200 গ্রাম জল রহিয়াছে। উত্তমরূপে মিশ্রিত করিবার পর অন্তিম তাপমাত্রা 21°C দেখা গেল। যদি ক্যালরিমিটারের ভর 40 গ্রাম হয় আর যদি ক্যালরিমিটার ধাতুটির আপেক্ষিক তাপ 0·1 হয়, তবে উহার তাপীয় ক্ষমতা কত ?

[উত্তর। 15·7 ক্যালরি।]

3. একটি 100 গ্রাম ওজনের পদার্থকে 120°C তাপমাত্রায় একটি তামার ক্যালরিমিটারের মধ্যে ডোবান হইল। ঐ ক্যালরিমিটারে 300 গ্রাম জল 20°C তাপমাত্রায় রহিয়াছে। উত্তমরূপে মিশ্রিত করিবার পর যদি অন্তিম তাপমাত্রা 30°C হয়, তবে ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বাহির কর। [তামার আপেক্ষিক তাপ = 0·09.]

[উত্তর। 0·34,]

4. তাপশক্তির একক কাহাকে বলে ? B. Th. U. এবং ক্যালরির সংজ্ঞা দাও। তাহাদের সম্পর্ক নির্ণয় কর।

5. একটি তাম্রনির্মিত ক্যালরিমিটারের ভর 180 গ্রাম এবং উহার আপেক্ষিক তাপ 0·09, কত তাপ শক্তি দিলে ঐ ক্যালরিমিটারটি 20°C হইতে 65°C তাপমাত্রায় উঠিবে ?

[উত্তর। 643 ক্যালরি।]

6. একটি পরীক্ষা দ্বারা কি করিয়া কোন বস্তুর জলবিকল্প বাহির করা যায়, তাহা বর্ণনা কর।

7. একটি ক্যালরিমিটারে 12·2°C-এ 129·4 গ্রাম জল রহিয়াছে। ইহাতে 30·6°C তাপমাত্রায় 65·7 গ্রাম জল ঢালিয়া দেওয়া হইল। ভাল করিয়া মিশ্রিত করিবার পর অন্তিম তাপমাত্রা দেখা গেল 21°C. ঐ ক্যালরিমিটারের জলবিকল্প কত ?

[উত্তর। 2 গ্রাম।]

পঞ্চম পরিচ্ছেদ

অবস্থান্তর

(Change of State)

5·1. **লীন তাপ** (Latent Heat) : কোন বস্তুকে গরম করিলে বা তাপ শক্তি প্রদান করিলে উহার উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়। হাত দিলে স্পর্শেন্দ্রিয় অথবা থার্মোমিটারের সাহায্যে বুঝিতে পারা যায় যে, বস্তুর উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইতেছে। তাপশক্তি এখানে আত্মপ্রকাশ করিতেছে উষ্ণতাবৃদ্ধির মাধ্যমে। উষ্ণতা বাড়িতে বাড়িতে হঠাৎ যদি দেখা যায় যে আর বাড়িতেছে না, সঙ্গে সঙ্গে বুঝিতে পারা যায় তাপশক্তি বস্তুকে আর দেওয়া হইতেছে না। কিন্তু এইভাবে ক্রমাগত গরম করিতে করিতে এমন এক অবস্থায় আসিবে, যখন আর তাপশক্তি দিলেও উষ্ণতা আর বাড়িবে না। তাহার বদলে দেখা যাইবে কঠিন বস্তু গলিয়া তরলীভূত হইতেছে। কিন্তু হাত দিয়া ছুঁইয়া বা থার্মোমিটার দিয়া দেখা যাইবে উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকিতেছে। কিন্তু বস্তুটিকে তাপশক্তি তখনও দেওয়া হইতেছে, বস্তুটি তাহা গ্রহণ করিতেছে এবং উষ্ণতা ঠিক রাখিয়া ক্রমাগত গলিতেছে। সুতরাং গৃহীত তাপশক্তি স্বাভাবিক উপায়ে উষ্ণতাবৃদ্ধির মাধ্যমে আত্মপ্রকাশ করিতে পারিতেছে না। উহা বস্তুতে গুপ্ত থাকিয়া যাইতেছে। এই অবস্থা চলিতে থাকিবে যতক্ষণ পর্যন্ত না কঠিন বস্তু পুরাপুরি গলিয়া যায়। তাহার পরও অর্থাৎ পুরাপুরি তরলীভূত হইবার পরও যদি তাপশক্তি দেওয়া হয় তখন আবার উষ্ণতাবৃদ্ধি হইতে থাকিবে। তাহা হইলে কঠিন বস্তু যে উষ্ণতায় তরলীভূত হয় সেই উষ্ণতায় (বা গলনাঙ্কে) তাপশক্তি গ্রহণ করিয়া সেই শক্তির জন্যই তরলীভূত হয় এবং সেই তাপ সাধারণভাবে আত্মপ্রকাশ করে না, গুপ্ত থাকিয়া যায়। যে পরিমাণ তাপ এইভাবে গুপ্ত থাকিয়া যায় তাহাকে ঐ বস্তুর **লীন তাপ** (Latent Heat) বলে। এই তাপ বস্তুর উষ্ণতাবৃদ্ধি না করিয়া অবস্থান্তর (Change of State) করায়। সুতরাং এক এক পদার্থের এক এক পরিমাণ লীন তাপ আছে। প্রথমোক্ত তাপ যাহা বস্তুর উষ্ণতা বৃদ্ধি করে, তাহাকে বলে **ইন্দ্রিয়গ্রাহ্য তাপ** (Sensible Heat)।

অনুরূপভাবে, কোন তরলকে তাপশক্তি দান করিতে থাকিলে সেই তাপ তরলের উষ্ণতা বৃদ্ধি করে। এই উষ্ণতা বাড়িতে বাড়িতে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তরলের স্ফুটন আরম্ভ হয়। তখনও তাপশক্তি দান করিতে থাকিলে দেখা যাইবে উষ্ণতার বৃদ্ধি হইতেছে না। তাহার বদলে তরলের স্ফুটন হইতেছে এবং ঐ তরলের বাষ্প উঠিতেছে। এই স্ফুটনের জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি বাহির হইতে প্রদত্ত তাপশক্তি হইতে আসিতেছে। এই প্রদত্ত তাপশক্তি উষ্ণতা বৃদ্ধির মাধ্যমে আত্মপ্রকাশ করিতেছে না। সুতরাং এই তাপ ইন্দ্রিয়গ্রাহ্য তাপ নহে, ইহা লীন তাপ। এক এক তরলের এক এক পরিমাণ

লীন তাপ থাকে। আর বাষ্পীভবন শেষ হইয়া সমস্ত তরল বাষ্পে পরিণত হইবার পরও যদি তাপ দেওয়া হইতে থাকে, তবে ঐ বাষ্পের উষ্ণতা আবার বাড়িতে থাকিবে।

গলনের লীন তাপ (**Latent Heat of Fusion**): কোন কঠিন পদার্থের একক ভরকে উহার গলনাঙ্কে যে পরিমাণ তাপ দিলে উহার উষ্ণতা না বাড়িয়া তরলীভূত হয় তাহাকে ঐ পদার্থের **গলনের লীন তাপ** বলে।

যদি ভরের একক এক গ্রাম ও তাপের একক এক ক্যালরি হয় তবে লীন তাপের একক হইবে ক্যালরি প্রতি গ্রাম। বরফের গলনের লীন তাপ 80 ক্যালরি প্রতি গ্রাম। এক গ্রাম জলকে উহার গলনাঙ্কে (0° সেন্টিগ্রেড) ঠাণ্ডা করিলে উহা ঐ একই উষ্ণতায় থাকিয়া বরফে পরিণত হইবে এবং উহা হইতে 80 ক্যালরি তাপ পাওয়া যাইবে।

বাষ্পীভবনের লীন তাপ (**Latent Heat of Vaporisation**): কোন তরল পদার্থের একক ভরকে উহার স্ফুটনাঙ্কে যে পরিমাণ তাপ দিলে উহার উষ্ণতা না বাড়িয়া সম্পূর্ণভাবে বাষ্পীভূত হয়, তাহাকে ঐ পদার্থের **বাষ্পীভবনের লীন তাপ** বলে।

উহাকে ঐ উষ্ণতায় ঠাণ্ডা করিলে উহা উষ্ণতা অপরিবর্তিত রাখিয়া তরলীভূত হয় এবং ঐ একই পরিমাণ তাপ ত্যাগ করে।

দেখা গিয়াছে, সাধারণ চাপে জলের বাষ্পীভবনের লীন তাপ 537 ক্যালরি প্রতি গ্রাম।

5·2. লীন তাপ নির্ণয় (**Determination of Latent Heat**): কোন পদার্থের গলনের ও স্ফুটনের লীন তাপ বিভিন্ন উপায়ে নির্ণয় করা যায়। এই সকল বিভিন্ন পরীক্ষার (experiment) মোটামুটি একই নীতি। পরীক্ষণীয় পদার্থের একটি নির্দিষ্ট ভরকে, একটি জানা উষ্ণতা, ভর ও আপেক্ষিক তাপের পদার্থ মিশাইয়া দেওয়া হয়, যাহাতে প্রথম পদার্থের অবস্থান্তর ঘটে। তাহার পর ঐ মিশ্রণের অন্তিম উষ্ণতা বাহির করা হয় এবং লব্ধ তাপ ও ত্যক্ত তাপ হিসাব করিয়া দুইটির সমতা হইতে প্রথম বস্তুর লীন তাপ বাহির করা হয়।

বরফের গলনের লীন তাপ:

(i) **ক্যালরিমিটার দ্বারা**: একটি ক্যালরিমিটার (ভর m, আপেক্ষিক তাপ s) লইয়া উহাতে কিছু জল (ভর m_1) লওয়া হইল, আর উহার উষ্ণতা দেখা হইল, ধর t_1° সেন্টিগ্রেড। এইবার কিছু গলন্ত বরফ উহাতে ঢালা হইল এবং সঞ্চালক (stirrer) দিয়া সঞ্চালন করা হইতে লাগিল। একটি থার্মোমিটার দিয়া অনবরত উষ্ণতা দেখা হইল। উষ্ণতা কমিতে কমিতে একটি অবমমান (ধর t° সেন্টিগ্রেড) হইয়া অল্প অল্প করিয়া আবার বাড়িতে লাগিল। এই উষ্ণতা t° সেন্টিগ্রেড লক্ষ্য করা হইল। তাহার পর ক্যালরিমিটার, জল ও বরফ গলা জলের ভর হইতে ক্যালরিমিটার ও জলের ভর বাদ দিয়া যে বরফ ঢালা হইয়াছিল তাহার ভর বাহির হইল, ধর m_2।

সুতরাং ক্যালরিমিটার দ্বারা ত্যক্ত তাপ $=(ms+m_1)(t_1-t)$ ক্যালরি।

বরফ দ্বারা লব্ধ তাপ $= m_2\mathrm{L}+m_2t$ ক্যালরি।

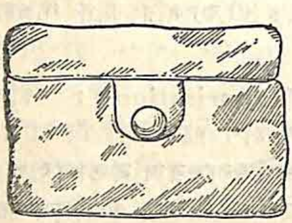
এখানে বরফের নির্গেয় লীন তাপ = L ক্যালরি/গ্রাম

$\therefore \quad m_2 L + m_2 t = (ms + m_1)(t_1 - t)$;

$\therefore \quad L = \dfrac{(ms + m_1)(t_1 - t) - m_2 t}{m_2}$

$= \dfrac{ms + m_1}{m_2}(t_1 - t) - t$ ক্যালরি/গ্রাম ··· ··· (5.2.1)

(ii) বরফ ক্যালরিমিটার (Ice Calorimeter) : ইহা বরফের একটি বড় ব্লক ; উহার উপরের পৃষ্ঠে বরফ খুঁড়িয়া একটি বাক্সের মত গর্ত করা থাকে। ব্লকের উপর একটি বরফের বড় ঢাকনি [চিত্র নং 24] থাকে। একটি ধাতুর গোলক (ভর m ও আপেক্ষিক তাপ s) লইয়া একটি চুল্লীতে (উষ্ণতা t° সেন্টিগ্রেড) কিছুক্ষণ রাখিয়া, তাহার পর ঢাকনি খুলিয়া উহাকে গর্তের মধ্যে ফেলিয়া দেওয়া হইল, আর সঙ্গে সঙ্গে ঢাকনি বন্ধ করিয়া দেওয়া হইল। গরম গোলকের জন্য বরফ গলিয়া কিছু জল জমিবে। একটি শোষক কাগজ প্রথমে ওজন করিয়া, তাহার পর ঢাকনি তুলিয়া উহা দিয়া জল শুষিয়া ভিজা কাগজটি আবার ওজন করা হইল। এই দুই ওজনের পার্থক্য, ধর m গ্রাম



চিত্র নং: 24

তাহা হইলে, $m_1 L = mst$

বা, $L = \dfrac{mst}{L}$ ··· (5·2·2)

(iii) জলের স্ফুটনের লীন তাপ : একটি ক্যালরিমিটারে (ভর m, আপেক্ষিক তাপ s) কিছু জল (ভর m_1, উষ্ণতা t_1) লইয়া তাহার মধ্যে একটি বয়লার হইতে কিছু বাষ্প রবার নলের সাহায্যে প্রবেশ করাইয়া দেওয়া হয়। জলের উষ্ণতা কিছু বাড়ে। উহার সর্বোচ্চ উষ্ণতা t মাপা হয়। তাহার পর সর্বশুদ্ধ ওজন করিয়া আগের ওজন বাদ দিলে যত বাষ্প ঘনীভূত হইয়াছে তাহার ভর বাহির হয়, ধর m_2। তাহা হইলে,

ত্যক্ত তাপ $= m_2 L + m_2(100 - t)$ ক্যালরি [যদি ভর গ্রামে হয়]

লব্ধ তাপ $= (ms + m_1)(t - t_1)$ ক্যালরি ;

$\therefore \quad m_2 L + m_2(100 - t) = (ms + m_1)(t - t_1)$

$L = \dfrac{(ms + m_1)(t - t_1) - m_2(100 - t)}{m_2}$

$= \dfrac{ms + m_1}{m_2}(t - t_1) - (100 - t)$ ··· (5·2·3)

আলোচনা : উপরে যে তিনটি পরীক্ষার বিবরণ দেওয়া হইল তাহাতে লক্ষ্য করা যায় যে, প্রথম ও তৃতীয় পরীক্ষায় সম্ভাব্য ভুলের প্রধান কারণ, ঘরের উষ্ণতা অপেক্ষা কম বা বেশী উষ্ণতা হইলেই বস্তুতে বা বস্তু হইতে তাপ বিকিরণ (radiation) হয়। ফলে অন্তিম উষ্ণতা, যাহা থার্মোমিটার দিয়া মাপা হয়, তাহা আসল অন্তিম উষ্ণতা

নয়, কিছু বেশী বা কম (যথাক্রমে)। তবে দ্বিতীয় পরীক্ষায় (বরফ ক্যালরিমিটারে) এই ভুল হয় না। কারণ, বরফের ঢাকনির জন্য চারিদিকে বরফ থাকায় প্রারম্ভিক ও অন্তিম উষ্ণতা একই থাকে।

সম্ভাব্য ভুলের দ্বিতীয় কারণ, বরফ বা বাষ্পের সহিত যদি সামান্য জলও থাকে তবে বরফ দ্বারা লব্ধ তাপ বা বাষ্প দ্বারা ত্যক্ত তাপ—ইহাদের হিসাব ত্রুটিপূর্ণ হয়। ধর, m গ্রাম বরফ ঢালা হইয়াছে। ওজনের দ্বারা হিসাব করা হইল ; কিন্তু ইহার মধ্যে m_1 গ্রাম জল আছে। আর গরম বস্তুর সংস্পর্শে এই বরফ গলিয়া জল হইয়া t° সেন্টিগ্রেড অন্তিম উষ্ণতায় আসিল। তাহা হইলে লব্ধ তাপ হিসাবমত হইবে. $m.\ 80+m.\ t$; কিন্তু আসলে তাহা হইবে, $(m-m_1)\ 80+m.\ t$।

তৃতীয় পরীক্ষায়, ধর, m গ্রাম বাষ্প ঘনীভূত হইয়াছে। ওজনের দ্বারা হিসাব করা হইল ; কিন্তু ইহার মধ্যে m_1 গ্রাম জল আছে। ঠাণ্ডা জলের সংস্পর্শে ইহা ঘনীভূত হইয়া অন্তিম উষ্ণতা t° সেন্টিগ্রেড পাইল। তাহা হইলে ত্যক্ত তাপ, হিসাবমত হইবে, $m.\ 537+m\ (100-t)$; কিন্তু আসলে তাহা হইবে, $(m-m_1)\ 537+m\,(100-t)$।

সেইজন্য প্রথম পরীক্ষায় বরফ ঢালিবার ঠিক পূর্বে শোষক কাগজ দিয়া উহার সহিত যে জল থাকে তাহাকে ভাল করিয়া শুষিয়া লইতে হয়। আর, তৃতীয় পরীক্ষায় যে রবার নলের সাহায্যে বাষ্প ঢালা হয়, সেই নলের লাইনে একটি বাষ্প ফাঁদ (Steam tap) বসান হয়, যাহাতে বাষ্পের সহিত কোন জল থাকিলে তাহা ঘনীভূত হইয়া যায় এবং বিশুদ্ধ শুষ্ক বাষ্প ক্যালরিমিটারে আসে।

5·3 বাষ্পায়ন ও স্ফুটন (Evaporation and Boiling) ঃ যদি একটি অগভীর প্লেটে কিছু জল সাধারণ ঘরের উষ্ণতায় রাখিয়া দেওয়া যায়, তবে কয়েক ঘণ্টা পরে দেখা যাইবে জল কিছু কমিয়া গিয়াছে এবং এক বা দুই দিন পরে দেখা যাইবে সমস্ত জল অদৃশ্য হইয়া গিয়াছে। সুতরাং প্লেটের জল ধীরে ধীরে অল্প অল্প করিয়া নিঃশব্দে বাষ্পীভূত হইয়া উড়িয়া গিয়াছে। যেহেতু জলের মধ্যে কোন চাঞ্চল্য হয় নাই। বুঝিতে হইবে এই প্রক্রিয়া জলের মুক্তপৃষ্ঠের মধ্য দিয়াই হইয়াছে, জলের অন্যান্য স্থানের মধ্য দিয়া হয় নাই। এই প্রক্রিয়াকে বলে **বাষ্পায়ন** (evaporation)। এই বাষ্পায়ন কেবল জলের বেলাতেই হয় তাহা নহে, সমস্ত তরলের বেলায়ই হয়। কাহারও খুব দ্রুতগতিতে, যেমন—ঈথার, কোহল, টারপেণ্টাইন ইত্যাদি ; আর কাহারও বেলায় খুব আস্তে, যেমন—পারদ, গ্লিসারিণ ইত্যাদি। যদি তরলের পাত্রটি উন্মুক্ত স্থানে না রাখিয়া একটি বদ্ধ জায়গায় রাখা হয় তবে দেখা যাইবে তরল আর কমিতেছে না। পরে আরও কিছু তরল পাত্রে ঢালিয়া দিলে দেখা যাইবে, নূতন দেওয়া তরল ঠিকই আছে, তাহা হইতে আর বাষ্পায়ন হইতেছে না। আবার, যদি সেই বদ্ধ স্থানের উষ্ণতা বাড়ান যায়, তবে দেখা যাইবে আরও কিছু তরল অদৃশ্য হইয়াছে। পাত্রের তরল আরও কিছু কমিয়াছে, কিন্তু তাহার পর বাষ্পায়ন বন্ধ হইয়াছে, তরলও আর কমিতেছে না। যদি এইবার উষ্ণতা কিছু কমান যায় তবে কিছু

পরে দেখা যাইবে পাত্রে তরলের পরিমাণ কিছু বাড়িয়াছে। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে, কোন একটি আবদ্ধ আয়তন একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ পর্যন্ত কোন তরলের বাষ্পকে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় গ্রহণ করিতে পারে। বেশী (বা কম) উষ্ণতায় বেশী (বা কম) পরিমাণ গ্রহণ করিতে পারে। এই নির্দিষ্ট পরিমাণ কত হইবে তাহা তরলের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

স্ফুটন (Boiling) : একটি কাঁচের ফ্লাস্কে কিছু জল লইয়া মুখ কর্ক দিয়া শক্ত করিয়া আঁটিয়া দাও। এই কর্কের ভিতরে তিনটি ছিদ্র আছে। একটি ছিদ্র দিয়া থার্মোমিটার ঢুকাও, যাহাতে উহার বাল্‌ব্‌ জলের ভিতরে ডুবিয়া থাকে। অন্য ছিদ্র দিয়া একটি বাঁকান কাঁচের নল প্রবেশ করাও, যাহাতে উহার নীচের মুখ জল হইতে কিছু উপরে থাকে। তৃতীয় ছিদ্র দিয়া একটি ম্যানোমিটার (চাপমাপক U-নল) প্রবেশ করাও। এইবার ফ্লাস্কটি একটি মিহি তারের জালের উপর রাখিয়া বুন্‌সেন শিখা (Bunsen flame) দ্বারা গরম করিতে থাক। থার্মোমিটারের দিকে লক্ষ্য রাখিলে দেখিবে উষ্ণতা ক্রমশঃ বাড়িতেছে। বাষ্পায়নও ক্রমেই বাড়িবে, কারণ মুক্তপৃষ্ঠ হইতে অল্প অল্প বাষ্প উঠিতেছে দেখা যাইবে। উষ্ণতা আরও বাড়িলে দেখা যাইবে, ফ্লাস্কের গাত্রে ছোট ছোট বুদ্‌বুদ আসিতেছে। আস্তে আস্তে সেই বুদ্‌বুদগুলি বড় হইয়া কাঁচের গাত্র ছাড়িয়া তরলের স্বাধীন পৃষ্ঠে চলিয়া যাইতেছে। এইগুলি জলে দ্রাবিত (dissolved) বায়ু, উষ্ণতা বৃদ্ধিতে আলাদা হইয়া উঠিয়াছে। এই বুদ্‌বুদগুলি অদৃশ্য হইবার কিছু পরে উষ্ণতা আরও বাড়িলে, ফ্লাস্কের নীচের গাত্রে আবার বুদ্‌বুদ দেখা যায় এবং আস্তে আস্তে বড় হইতে থাকে। এইগুলি বাষ্পের বুদ্‌বুদ। এগুলি বড় হইয়া ফ্লাস্কের গাত্র ছাড়িয়া সশব্দে উপরের দিকে উঠিতে থাকে এবং উঠিতে উঠিতে তরলের মধ্যেই মিলাইয়া যায়। তখন একরকম শব্দ হইতে থাকে। উষ্ণতা আরও বাড়িলে এই বুদ্‌বুদগুলি আর মিলায় না, তরলের মুক্তপৃষ্ঠ পর্যন্ত যায় এবং সেখান হইতে প্রচুর বাষ্পাকারে উপরে উঠিতে থাকে। এই ঘটনা অবিশ্রান্তভাবে ঘটিতে থাকে। থার্মোমিটার লক্ষ্য করিলে দেখা যায় যে উষ্ণতা স্থির আছে, আর বাড়িতেছে না। তরলের এই অবস্থায় যে প্রচুর বাষ্পীভবন হয় (একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায়) উহাকে বলে **স্ফুটন** (**Boiling**)। আর যে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ঐ তরলের অবিশ্রান্ত বাষ্পীভবন উপরিলিখিত- ভাবে সম্পন্ন হয়, তাহাকে বলে তরলের **স্ফুটনাঙ্ক (Boiling point)** ভিন্ন ভিন্ন তরলের ভিন্ন ভিন্ন স্ফুটনাঙ্ক আছে। আবার একই তরলের বিভিন্ন চাপে বিভিন্ন স্ফুটনাঙ্ক হয়।

5·4. **বাষ্পায়ন ও স্ফুটনের মধ্যে পার্থক্য :** (i) বাষ্পায়ন একটি মন্থরগতি প্রক্রিয়া ; স্ফুটন খুব দ্রুত প্রক্রিয়া। (ii) বাষ্পায়ন তরলের মুক্তপৃষ্ঠ হইতেই হয়, অন্যস্থান হইতে হয় না ; স্ফুটন তরলের সমস্ত স্থান হইতে হয়।

বাষ্পায়ন নিঃশব্দে সমস্ত উষ্ণতাতেই হইতে থাকে, তবে উষ্ণতা যত বাড়ে বাষ্পায়ন তত দ্রুত হইতে থাকে ; স্ফুটন সশব্দে এবং একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় হয়। যতক্ষণ স্ফুটন চলে ততক্ষণ উষ্ণতা আর বাড়ে না।

বাষ্পায়ন ও স্ফুটনের মধ্যে একটি মোটামুটি এইরূপ সম্পর্ক আছে—যে তরলের স্ফুটনাঙ্ক যত কম, সাধারণ যে কোনও নির্দিষ্ট উষ্ণতায় সেই তরলের বাষ্পায়ন তত দ্রুত হইবে।

5·5. **(ক) বাষ্পায়ন কি কি বিষয়ের উপর নির্ভর করে?** (i) উষ্ণতা—উষ্ণতাবৃদ্ধির সহিত বাষ্পায়নের হার বাড়িতে থাকে। তবে সমানুপাতিক হারে বাড়ে না। উষ্ণতা 12° সেন্টিগ্রেড হইতে 13° সেন্টিগ্রেড হইলে বাষ্পায়নের হার যতটা বাড়ে 52° সেন্টিগ্রেড হইতে 53° সেন্টিগ্রেড হইলে বাষ্পায়নের হার তাহা অপেক্ষা অনেক বেশী বাড়ে।

(ii) তরল হইতে যে বাষ্প বাহির হয় তাহাকে জমিতে না দিয়া অনবরত সরাইয়া দিতে পারিলে বাষ্পায়ন দ্রুত হয়। সেইজন্য হাওয়ায় ভিজা কাপড়-জামা মেলিয়া দিলে তাড়াতাড়ি শুকায়।

(iii) তরলের উপর চাপ—তরলের উপর চাপবৃদ্ধি (বা হ্রাস) করিলে বাষ্পায়ন দ্রুত (বা মন্দীভূত) হয়।

(iv) তরলের মুক্ত পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল—ইহা বাড়াইলে বাষ্পায়ন দ্রুত হয়, কারণ বাষ্পায়ন প্রক্রিয়া তরলের মুক্তপৃষ্ঠ হইতেই হয়, অন্য অংশ হইতে হয় না। এক সের জল একটি চওড়া অগভীর পাত্রে ফেলিয়া রাখ। আর এক সের জল একটি সরু মুখ উন্মুক্ত বোতলে ফেলিয়া রাখ। একদিন পরে দেখিবে প্রথম পাত্রে জল কিছুই নাই। আবার সাত দিন পরেও দেখিবে দ্বিতীয় পাত্রে যথেষ্ট জল রহিয়াছে।

(v) তরলের প্রকৃতি—অন্যান্য বিষয় এক থাকিলেও দেখা যাইবে ভিন্ন ভিন্ন তরল হইতে ভিন্ন ভিন্ন হারে বাষ্পায়ন হইতেছে। একই রকম দুইটি উন্মুক্ত পাত্রে দুইটি ভিন্ন তরল রাখিয়া দাও (অবশ্য তাহাদের উপরের ক্ষেত্রফল যেন সমান হয়)। কয়েকদিন পরে দেখিবে, একটি হইতে আর একটি অপেক্ষা বেশী তরল অদৃশ্য হইয়াছে।

(খ) স্ফুটনাঙ্ক কি কি বিষয়ের উপর নির্ভর করে? (i) তরলের উপর চাপ বাড়িলে (বা কমিলে) উহার স্ফুটনাঙ্ক বাড়ে (বা কমে)।

(ii) তরলে কোন পদার্থ দ্রবীভূত থাকিলে ঐ দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক মূল তরলের অপেক্ষা বেশী হয়।

5·6. গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব (Effect of Pressure on Melting point and Boiling point) :

গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব : কোনও কঠিন বস্তুকে গরম করিলে উহার গলনাঙ্ক কিছুটা চাপের উপর নির্ভর করিবে। ভিন্ন চাপে রাখিয়া গরম করিলে উহার গলনাঙ্ক সামান্য বাড়িবে বা কমিবে। এই পরিবর্তনও সকল পদার্থের ক্ষেত্রে একইরূপ হয় না। দেখা যায়, **যেসব পদার্থ গলাইলে আয়তনে কমে (যেমন বরফ, ঢালাই লোহা** প্রভৃতি **), চাপ বাড়াইলে তাহাদের**

গলনাঙ্কও কমিয়া যায়। আবার যেসব পদার্থ গলাইলে আয়তনে বাড়ে তাহাদের গলনাঙ্কও চাপ বৃদ্ধির সহিত বৃদ্ধি পায়।

কঠিন পদার্থের ব্যবহারের এই পার্থক্য সহজ চিন্তাধারার সহিত সামঞ্জস্যপূর্ণ। একটু চিন্তা করিলে বুঝা যায় ইহাই স্বাভাবিক। কোনও বস্তুর উপর প্রযুক্ত চাপ উহার আয়তন কমাইবারই চেষ্টা করিবে। একখণ্ড বরফ যে চাপে রহিয়াছে সেই চাপ উহার আয়তন কমাইতে সচেষ্ট থাকিবে। আবার বরফ গলিলে আয়তনে কমে। সুতরাং বরফখণ্ডের উপর চাপ উহার প্রযুক্ত গলনকে সহজ ও স্বতঃস্ফূর্ত করিতেই চেষ্টা করিবে। সুতরাং প্রযুক্ত চাপ বাড়াইলে গলন আরও সহজসাধ্য হইবে, অর্থাৎ পূর্বেকার গলনাঙ্ক অপেক্ষা কম উষ্ণতাতেই গলিবে। ফলে চাপ বাড়াইলে বরফের গলনাঙ্ক কমিয়া যাইবে। অনুরূপ যুক্তিতে বিপরীতধর্মী পদার্থের চাপ বাড়াইলে গলনাঙ্ক বাড়িয়া যাইবে।

দেখা গিয়াছে, বরফের ক্ষেত্রে 1 বায়ুচাপ (Atmosphere) পরিমাণ চাপ বাড়াইলে উহার গলনাঙ্ক 0·0073° সেন্টিগ্রেড কমে।

পুনঃশিলীভবন (Regelation) : দুইটি বরফের টুকরা লইয়া একসঙ্গে পরস্পর চাপিয়া কিছুক্ষণ রাখ এবং তাহার পর ছাড়িয়া দাও। দেখিবে দুইটি টুকরা মিলিয়া বরফের একটি বড় টুকরা হইয়াছে। ইহা হইবার কারণ, চাপ বৃদ্ধির জন্য যে দুইটি তল একত্র করা হইল, সেই দুই তলের সংলগ্ন বরফ কণাগুলির গলনাঙ্ক সামান্য কমিয়া গেল। কিন্তু বাতাসের মধ্যে বরফ টুকরা দুইটির যে উষ্ণতা 0° সেন্টিগ্রেড ছিল সেই উষ্ণতা ঠিকই থাকিল। ফলে যে বরফ কণাগুলির গলনাঙ্ক কমিল তাহাদের উষ্ণতা কিন্তু ঠিকই থাকিল। আর সেই বরফ কণাগুলি তরল জলে পরিণত হইল। তাহার পর টুকরা দুইটি ছাড়িয়া দেওয়া মাত্র ঐ অংশের গলনাঙ্ক আবার বাড়িয়া 0° সেন্টিগ্রেড হইল। সঙ্গে সঙ্গে ঐ অংশের তরলীভূত জল আবার বরফে পরিণত হইল এবং দুই টুকরা বরফ জোড়া লাগিয়া এক টুকরা তৈয়ারী হইল। এই নৈসর্গিক ঘটনাকে বলে **পুনঃশিলীভবন** (Regelation)। **মাইকেল ফ্যারাডে** ইহা প্রথম প্রত্যক্ষ করেন। ইহা নীচের দুইটি পরীক্ষার দ্বারা ভালভাবে দেখান যায়—

(ক) **মুঁসোর যন্ত্র (Mousson's Apparatus) :** 25নং চিত্রে একটি খুব শক্ত লোহার বেলন দেখা যাইতেছে। ইহার নীচের মুখে একটি চওড়া স্ক্রু এবং উপরের মুখে একটি অপেক্ষাকৃত সরু স্ক্রু আটকান। দুই স্ক্রুকে চালাইবার জন্য দুইটি দণ্ড উপযুক্তভাবে লাগান আছে। প্রথমে নীচের স্ক্রু খুলিয়া ঐ মুখ দিয়া একটি লোহার বল ঢুকাইয়া একেবারে ছোট স্ক্রুর সহিত ছোঁয়াইয়া দেওয়া হয়। তারপর কিছু জল ঐ বল ও নীচের স্ক্রুর মধ্যে রাখা হয় এবং নীচের স্ক্রু আঁটিয়া দেওয়া হয়। এইবার সমস্ত যন্ত্রটি একটি পাত্রে লবণ ও বরফের মিশ্রণের মধ্যে কিছুক্ষণ রাখিলেই ভিতরের সমস্ত জল বরফ হইয়া যায়। তাহার পর

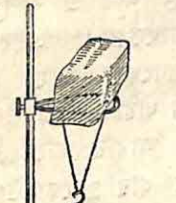
যন্ত্রটিকে খাড়াভাবে রাখিয়া উপরের স্ক্রু ভিতরের দিকে ঘুরাইয়া চাপ দেওয়া হয়। নীচের স্ক্রু স্থির রাখা হয়। কিছুক্ষণ পরে নীচের স্ক্রু খুলিলে দেখা যায় উপরের বলটি বাহির হইয়া আসিয়াছে। ইহা হইতেই বুঝা যায় যে চাপবৃদ্ধির ফলে অনরবত বলের নীচের বরফ গলিয়াছে এবং বল নামিয়াছে, আর সঙ্গে সঙ্গে বলের উপরের জল আবার বরফে পরিণত হইয়াছে।



চিত্র নং 25

(খ) **বটম্‌লীর পরীক্ষা (Bottomley's Experiment):** 26নং চিত্রে প্রদর্শিত উপায়ে একটি বড় বরফের খণ্ড রাখা হয়। উহাকে একটি বেশ শক্ত ও মোটা ধাতুর তার দিয়া জড়ান হয়। এই তারের নীচের অংশে একটি ভারী ওজন ঝুলাইয়া দেওয়া হয়। কিছুক্ষণ অপেক্ষা করিলে দেখা যায় যে বরফ যেমন ছিল তেমনি থাকিতেছে, আর তারটি উপর হইতে বরফ কাটিয়া ক্রমেই ভিতরে ঢুকিতেছে।

ইহার কারণ, বরফের উপরের তলের উপর তারটি চাপ দিতেছে। এই চাপ প্রযুক্ত ওজনের জন্য। এই ওজনের বল তারের মাধ্যমে, অর্থাৎ অতি ক্ষুদ্র ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত হওয়ায় যথেষ্ট নূতন চাপের সৃষ্টি করে। এই নূতন চাপের জন্য তারের ঠিক নীচের বরফের গলনাঙ্ক কমিয়া যায়, কিন্তু উষ্ণতা ঠিকই (অর্থাৎ 0° সেন্টিগ্রেড) থাকে। সুতরাং তারের ঠিক নীচের বরফ গলিয়া জল হয়। সঙ্গে সঙ্গে তার ঐ জলের নীচে চলিয়া আসে। ঐ জল তখন তারের উপরে উঠিয়া যায় এবং বর্ধিত চাপ না থাকায় উহার গলনাঙ্ক বাড়িয়া 0° সেন্টিগ্রেড হয়। তখন সেই জল তৎক্ষণাৎ তারের উপরে জমিয়া বরফ সৃষ্টি করে। তারের নূতন অবস্থানের ঠিক নীচের বরফ এই প্রক্রিয়ার ফলে অনুরূপভাবে ব্যবহার করে এবং এইভাবে ক্রমশঃ তারটি বরফ কাটিয়া নীচে নামিতে থাকে, কিন্তু বরফ নিরেট হইয়াই থাকে।



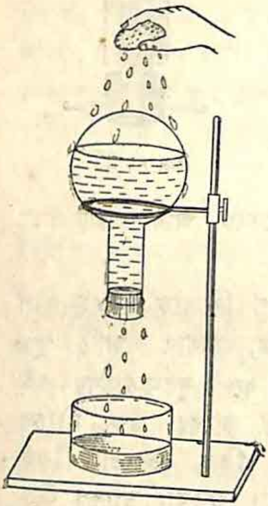
চিত্র নং 26

স্ফুটনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব: পূর্বের অনুচ্ছেদে বাষ্পায়ন ও স্ফুটনাঙ্কের আলোচনা হইতে বোঝা যায় যে তরলের উপর চাপ অনুসারে স্ফুটনাঙ্ক বাড়িবে বা কমিবে। দার্জিলিং-এ বায়ুর চাপ কম। জলের স্ফুটনাঙ্কও মোটামুটি 93·6° সেন্টিগ্রেড। জলের উপর পরীক্ষাগারে চাপ কমাইয়া বাড়াইয়া স্ফুটনাঙ্ক বাড়ান কমান যায়।

(ক) **নিম্নচাপে স্ফুটন:** (i) এক বীকার ফুটন্ত জল তাড়াতাড়ি লইয়া বায়ু-শোষক পাম্পের রিসিভারের মধ্যে রাখ। সামান্য অপেক্ষা করিলেই দেখিবে স্ফুটন বন্ধ হইয়া গিয়াছে। বন্ধ হইবার কিছু পরে পাম্প চালাও। দেখিবে

জল আবার ফুটিতেছে, যদিও তখন উষ্ণতা সাধারণ স্ফুটনাঙ্ক (100° সেন্টিগ্রেড) অপেক্ষা যথেষ্ট নীচে নামিয়া গিয়াছে।

(ii) **ফ্রাঙ্কলিনের পরীক্ষা :** একটি শক্ত কাঁচের ফ্লাস্ক লও এবং প্রায় অর্ধেক আয়তন জলে ভর্তি কর। উহাকে বুন্‌সেন শিখার উপরে তারের জালের উপরে বসাইয়া গরম করিতে থাক। জল ফুটিবে এবং নির্গত বাষ্প সবেগে উপরের মুখ দিয়া বাহির হইতে থাকিবে। তাহার সহিত ফ্লাস্কের ভিতরের বায়ুও বাহির হইয়া যাইবে। অল্পক্ষণ পরে উহার ভিতরে বায়ু আর কিছুই থাকিবে না, থাকিবে কেবল বাহিরে ধাবমান বাষ্প। এইবার বুন্‌সেন শিখা সরাইয়া লও এবং সঙ্গে সঙ্গে ফ্লাস্কের মুখ কর্ক দিয়া আঁটিয়া বন্ধ কর, আর ফ্লাস্কটিকে উল্টাইয়া একটি ক্লাম্পের সহিত যুক্ত গোল আংটার মধ্যে খাড়াভাবে বসাইয়া দাও (চিত্র নং 27 -এ প্রদর্শিত উপায়ে)। এইবার কিছুক্ষণ অপেক্ষা কর ; স্ফুটন থামিয়া যাইবে। এখন উষ্ণতা স্ফুটনাঙ্ক হইতে ধীরে ধীরে নামিয়া আসিবে, যদিও ঘরের উষ্ণতা অপেক্ষা যথেষ্ট বেশীই আছে। ফ্লাস্কের ভিতর এখন ঐ উষ্ণতায় সম্পৃক্ত বাষ্প ভর্তি আছে, আর ঐ সম্পৃক্ত বাষ্প নীচে জলের উপর চাপ দিতেছে। এইবার একটি স্পঞ্জ ঠাণ্ডা জলে ডুবাইয়া ফ্লাস্কের উপরে ধর এবং চাপিতে থাক। ঠাণ্ডা জলের ধারা ফ্লাস্কের উপর পড়ার পরেই দেখিবে ভিতরের জল আবার ফুটিতেছে। এই স্ফুটন একটু পরেই থামিয়া যাইবে। আবার ঠাণ্ডা জলের ধারা ফ্লাস্কের উপর দাও। আবার জল ফুটিতে থাকিবে।



চিত্র নং 27

এই ঘটনার কারণ, ঠাণ্ডা জল পড়ায় ফ্লাস্কের উষ্ণতা হঠাৎ কমিয়া যায়। তখন ভিতরের সম্পৃক্ত বাষ্পের একটা অংশ হঠাৎ তরলীভূত হইবে। ভিতরে কোন বায়ু নাই। সুতরাং ভিতরে জলের উপর চাপ হঠাৎ কমিয়া গিয়াছে ; কিন্তু জলের উষ্ণতা তখনও বিশেষ কমে নাই। সেই হ্রাসপ্রাপ্ত চাপে জলের যে স্ফুটনাঙ্ক, জলের উষ্ণতা তাহা অপেক্ষা বেশীই আছে। সেইজন্য জল আবার ফুটিতে থাকিবে। কিন্তু কিছুক্ষণ পরেই এই স্ফুটন বন্ধ হইয়া যাইবে এবং ফ্লাস্কের উপর ঠাণ্ডা জল ঢালা হইলে ঐ কারণে কিছুক্ষণের জন্য আবার স্ফুটন হইবে।

(খ) **উচ্চচাপে স্ফুটন :** (i) উচ্চচাপে জলের স্ফুটনাঙ্ক যে বাড়ে তাহার সাক্ষাৎ পরিচয় আমরা পাই দৈনন্দিন রন্ধন কার্যে। সাধারণতঃ কোনও জিনিস সিদ্ধ করিতে হইলে এক হাঁড়ি বা একপাত্র জলে ছাড়িয়া দিয়া গরম করা হয়। জল যখন ফুটিতে থাকে তখন সেই দ্রাব্য 100° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় সিদ্ধ হইতে থাকে। কিন্তু অনেক জিনিস (যেমন, মাংস) আরও বেশী

উষ্ণতায় সিদ্ধ করিলে তবে সুসিদ্ধ হয়, কিন্তু জলের স্ফুটনাঙ্ক 100° সেন্টিগ্রেড হওয়ায় উহার বেশী উষ্ণতা পাওয়া যায় না। এখন ঐ হাঁড়ি বা পাত্রের মুখ ভাল করিয়া বন্ধ করিয়া দেওয়া হয়। 100° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা হইলে অনবরত বাষ্প উঠিতে থাকে। কিন্তু বাষ্প বাহিরে যাইতে পারে না, আবদ্ধ স্থানে থাকে এবং তাহার ফলে ভিতরের জলের স্ফুটনাঙ্ক বাড়িতে থাকে। সুতরাং জলেরও স্ফুটন বন্ধ হয়, কিন্তু উষ্ণতা বাড়িতে থাকে। বাড়িতে বাড়িতে যখন উষ্ণতা নূতন স্ফুটনাঙ্কের সমান হয়, তখন জল আবার ফুটিতে থাকে। কিন্তু তখন উষ্ণতা 100° সেন্টিগ্রেড অপেক্ষা অনেক বেশী। সেই বেশী উষ্ণতায় সিদ্ধ হওয়াতে মাংস বা ঐরূপ জিনিস সহজেই সুসিদ্ধ হইতে পারে। এই ধরনের ব্যবস্থাবিশিষ্ট রন্ধনের পাত্র আজকাল খুব ব্যবহৃত হয়। তাহার নাম **প্রেসার কুকার** (**Pressure Cooker**)।

চাপের সহিত জলের স্ফুটনাঙ্কের তালিকা

(Boiling Point of Water with Pressure)

চাপ (মি. মি. পারদ)	স্ফুটনাঙ্ক (°সেন্টিগ্রেড)	চাপ (মি. মি. পারদ)	স্ফুটনাঙ্ক (°সেন্টিগ্রেড)
750	99·63	764	100·15
752	99·70	766	100·22
756	99·85	768	100·29
758	99·93	770	100·37
760	100·00	772	100·44
762	100·07	774	100·51

উদাহরণ 1. তাড়াতাড়ি রান্না করিতে আগুনের শিখা আরও প্রবল করা কি সহায়ক হয়?

উত্তর। না। কারণ, রান্না করিতে ভোজ্যদ্রব্য ফুটন্ত জলে সিদ্ধ করিতে হয়। শিখা প্রবলতর করিলে জল তাড়াতাড়ি ফুটিয়া শেষ হইয়া যায়, আবার নূতন ঠাণ্ডা জল দিতে হয়, কিন্তু উষ্ণতা 100° সেন্টিগ্রেডের বেশী হয় না। সুতরাং কোনও লাভ হয় না, বরং জল তাড়াতাড়ি শেষ হইয়া যাওয়ায় অসুবিধাই হয়। কেবল স্ফুটনাঙ্ক বজায় রাখিতে যত তাপ প্রয়োজন তাহার উপযোগী শিখা থাকিলেই হইল।

2. উত্তপ্ত না করিয়া জলকে কি ফুটান সম্ভব?

উত্তর। হ্যাঁ। যদি পাত্রের মুখ একটি শোষক পাম্পের (Vacuum pump) সহিত যোগ করিয়া জলের উপরকার আবদ্ধ বায়ু ক্রমেই বাহির করিয়া দেওয়া হয়, তবে এমন এক সময় আসিবে যখন সাধারণ উষ্ণতাতেই জল ফুটিতে থাকিবে।

প্রশ্নমালা

1. লীন তাপ বলিতে কি বুঝায় ? কোন পদার্থের গলনের লীন তাপ 80 ক্যালরি প্রতি গ্রাম বলিলে, তাহার অর্থ কি ?

2. একটি সাধারণ পরীক্ষা দ্বারা বরফের লীন তাপ কি করিয়া বাহির করা হয়, তাহার বর্ণনা দাও।

3. কোন তরলের স্ফুটনাঙ্কের লীন তাপের অর্থ কি ? স্ফুটনাঙ্কের লীন তাপ কি করিয়া পরীক্ষা দ্বারা বাহির করা হয় ?

4. বরফ ক্যালরিমিটারের বর্ণনা দাও। ঐ যন্ত্র দ্বারা কিভাবে লীন তাপ বাহির করা হয় ?

5. বাষ্পায়ন ও স্ফুটনের পার্থক্য কি ? কি অবস্থায় একটি তরলের স্ফুটন হইতে থাকে ?

6. কি কি অবস্থার উপর বাষ্পায়ন নির্ভর করে, তাহা বিশদভাবে লেখ।

7. গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব বুঝাইয়া লেখ। পুনঃশিলীভবন কাহাকে বলে ?

8. বটন্‌লীর পরীক্ষাটি বর্ণনা কর এবং ঐ পরীক্ষার সিদ্ধান্ত লেখ।

9. উচ্চচাপে স্ফুটন বলিতে কি বোঝ ? একটি পরীক্ষা দ্বারা এই স্ফুটন দেখাও।

10. যদি 10°C তাপমাত্রার 5 গ্রাম বরফ 30°C তাপমাত্রার 20 গ্রাম জলের সঙ্গে মিশ্রিত করা যায়, তবে তাহাদের অন্তিম তাপমাত্রা কত হইবে ? [উত্তর :—7°C।]

11. 15 গ্রাম ভরযুক্ত একটি লৌহখণ্ডের আদি তাপমাত্রা 113·6°C, ঐ লৌহখণ্ডকে একটি বরফখণ্ডের গর্তের মধ্যে ফেলিয়া দেওয়া হইল। দেখা গেল যে 2·5 গ্রাম বরফ গলিয়াছে। যদি বরফের লীন তাপ ৪০ ক্যালরি প্রতি গ্রাম হয়, তবে লৌহখণ্ডের আপেক্ষিক তাপ কত ? [উত্তর :—0·11।]

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ

তাপের যান্ত্রিক তুল্যমান
(Mechanical Equivalent of Heat)

6·1. **তাপ ও কার্য (Heat and Work):** আদিম যুগ হইতেই মানুষ জানিয়াছে যে ঘর্ষণে তাপ উৎপন্ন হয়। আগে চকমকি পাথর ঘষিয়া আগুন জ্বালান হইত। এখনও দিয়াশলাইয়ের একধারে ঘষিয়া কাঠি ধরান হয়। শান দেওয়ার পাথর যখন দ্রুত ঘুরিতে থাকে, তখন উহার পরিধির সহিত জোরে একটি ছুরি বা কাঁচি ধরিলে আগুনের ফুলকি দেখা যায়। করাত, উকো (File) প্রভৃতি জোরে কাজ করিলে দেখা যায় উহারা গরম হইয়া উঠিয়াছে। এই সকলই ঘর্ষণ দ্বারা তাপ সৃষ্টির উদাহরণ।

আবার ঘর্ষণ ছাড়াও যদি কোন বস্তুকে দ্রুত চলন্ত অবস্থায় হঠাৎ বাধা দিয়া থামাইয়া দেওয়া হয় তাহা হইলেও তাপ উৎপন্ন হয়। এখানে গতি শক্তি অন্য কোন-রূপে যান্ত্রিক শক্তিতে পরিণত না হইয়া তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। খুব উঁচু ছাদ হইতে কোন বস্তু (ধর, ধাতুনির্মিত) যদি একটি শক্ত রাস্তায় পড়ে তবে দেখা যায় বস্তুটি গরম হইয়া গিয়াছে। একটি লোহার পাতকে যদি জোরে হাতুড়ি দিয়া ঘা মারা হয় তবে উহা গরম হয়। এই সকলই যান্ত্রিক শক্তির তাপশক্তিতে রূপান্তর হওয়ার দৃষ্টান্ত। আবার ইহার উল্টাটিও আমাদের চোখে পড়ে। রেলের (কয়লা বা তৈল চালিত) এঞ্জিনে কয়লা বা তৈল পুড়াইয়া যে তাপশক্তির সৃষ্টি হয় তাহাকে গতি শক্তিতে রূপান্তর করা হয় ইহার জন্যই রেলগাড়ী, জাহাজ প্রভৃতি চলে। এই সকল দৃষ্টান্ত হইতেই ধারণা হয় যে, যখনই কোন পরিমাণ তাপ শক্তি রূপান্তরিত হইয়া কোন পরিমাণ যান্ত্রিক শক্তি উৎপন্ন হয়, বা ইহার বিপরীতটাই ঘটে, তখন এই দুই পরিমাণের মধ্যে একটি সম্পর্ক আছে। অর্থাৎ একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপশক্তি রূপান্তরিত হইয়া একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ যান্ত্রিক শক্তি সৃষ্টি করে।

তাপের স্বরূপ: তাপ কি, এ সম্বন্ধে বহুদিন হইতেই মানুষের কৌতূহল রহিয়াছে। কোন বস্তুকে তাপ দিলে গরম হয়, তাপ টানিয়া লইলে ঠাণ্ডা হয়। সুতরাং উহার কিছু পরিমাণ তাপ আছে, আর সেইজন্যই উহার উষ্ণতা। উহাতে যে তাপ আছে তাহা উহার আভ্যন্তরীণ শক্তি। উহার কণাগুলির গতি শক্তি আছে। উহা কঠিন বস্তু হইলে কণাগুলি ঘুরিতে ফিরিতে পারে না, তবে তাহাদের স্পন্দন (Vibration) আছে; তরল বা গ্যাসের কণাগুলি ঘুরিতে ফিরিতে পারে। স্পন্দনই হউক, আর চলন-ঘূর্ণনই হউক, কণাগুলির যে গতি শক্তি তাহাই বস্তুর তাপ এবং ইহার ফল বস্তুর উষ্ণতা।

6·2. ক্যালরি ও আর্গ-এর সম্পর্ক (Relation between the Calorie and the Erg) : সাধারণ অভিজ্ঞতা হইতে বলা যায় যে, যদি কেবল যান্ত্রিক শক্তি খরচ করিয়া (অর্থাৎ কার্য করিয়া) যদি তাপ উৎপন্ন করা যায়, তাহা হইলে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ কার্য করিয়া একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ উৎপন্ন করা যায়। বহু পরীক্ষা দ্বারা ইহা প্রমাণিত হইয়াছে। সি. জি. এস. পদ্ধতি অনুযায়ী কার্যের চরম (absolute) একক এক আর্গ, আর তাপের একক এক ক্যালরি। যদি W আর্গ কার্য করিয়া ঐ পরিমাণ যান্ত্রিক শক্তি রূপান্তর করিয়া H ক্যালরি তাপ উৎপন্ন করা যায়, তবে

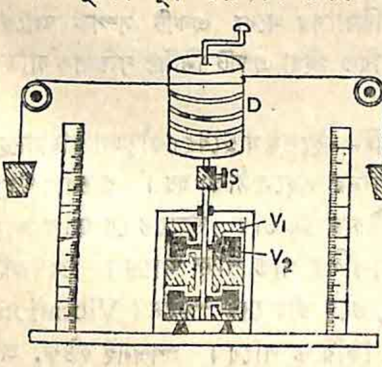
$$\frac{W}{H} = J \text{ (একটি ধ্রুবক)}$$

বা, $W = JH$ ... ... (6·21)

এই ধ্রুবক J-কে বলে **তাপের যান্ত্রিক তুল্যমান** (Mechanical Equivalent of Heat)। ইহাই ক্যালরি ও আর্গ-এর মধ্যকার সম্পর্ক প্রকাশ করে। ইহার মান $4·18 \times 10^7$ আর্গ প্রতি ক্যালরি, বা 4·18 জুল প্রতি ক্যালরি। ইহার অর্থ, $4·18 \times 10^7$ আর্গ কার্য করিলে এবং এই পরিমাণ যান্ত্রিক শক্তি তাপে রূপান্তরিত হইলে এক ক্যালরি তাপ উৎপন্ন হয়। এই সমীকরণকে **তাপ-গতিতত্ত্বের প্রথম সূত্র** (First Law of Thermodynamics) বলে। এই সূত্র সম্বন্ধে 6·4. অনুচ্ছেদে আরও আলোচনা করা হইয়াছে।

6·3. তাপের যান্ত্রিক তুল্যমান নির্ণয় (Determination of the Mechanical Equivalent of Heat) : তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক নির্ণয় বিভিন্ন পরীক্ষার দ্বারা করা যায়। তাহার মধ্যে ডঃ জুলের পরীক্ষাই সর্বাপেক্ষা খ্যাত। এই পরীক্ষার বিবরণ নিম্নে দেওয়া হইল।

ডঃ জুলের মূল পরীক্ষায় ব্যবহৃত যন্ত্র (চিত্র নং 28) দেখান হইল। একটি তামার ক্যালরিমিটার, একটি ঢাকনা দিয়া ঢাকা। উহা কয়েকটি কুপরিবাহক (bad conductor) ব্লকের উপর রাখা হয়। ক্যালরিমিটারের অক্ষ বরাবর একটি শলাকা বসান থাকে। এই শলাকার সঙ্গে দুই সারিতে (প্রতি সারিতে চারটি) পাত (V_2) লম্বভাবে লাগান থাকে, যাহাতে শলাকা ঘুরাইলে পাতগুলি অনুভূমিক তলে ঘুরিতে পারে। আবার ক্যালরিমিটারের গাত্রে কতকগুলি পাত (V_1)



চিত্র নং 28

এমনভাবে লাগান থাকে। উহাদের ভিতরে এমনভাবে ফাঁক থাকে যাহাতে V_2

পাতগুলি ঘুরিতে কোনখানে ধাক্কা খায় না, কিন্তু অনাবশ্যক বেশী ফাঁকও থাকে না। শলাকা (S) ঢাকনা ভেদ করিয়া উপরে সামান্য উঠিয়া শেষ হইয়াছে। কিন্তু উহার উপরের তলে আর একটি খাড়া শলাকা শক্তভাবে বসান থাকে। এই দ্বিতীয় শলাকার নীচের প্রান্তটি সূচাকৃতি। ইহার সাহায্যে দুই শলাকাকে আলাদা করিয়া দেওয়া যায় এবং ইচ্ছামত সংযুক্ত করা যায়। উপরের শলাকা একটি ড্রামের (D) সহিত যুক্ত। উপরের হাতল ঘুরাইয়া ড্রামকে ঘুরান যায়। চিত্র নং 28-এ ক্যালরিমিটারের খাড়া ছেদ (vertical section) দেখান হইয়াছে।

ড্রামের গাত্রে একটি ছোট পিন পুঁতিয়া উহাতে সুতার দুইটি প্রান্ত বাঁধা হয়। তাহার পর সুতা দুইটি দিয়া ড্রামকে কয়েকবার জড়ান হয়; একটি সুতা ড্রামের গাত্রের স্পর্শক হিসাবে সোজা ডানদিকে চলিয়া যায় এবং অপর সুতা আর একটু ঘুরিয়া ড্রামের অপর দিকের স্পর্শক হিসাবে বামদিকে চলিয়া যায়। সুতা দুইটি সমান্তরাল এবং দুইটি মসৃণ কপিকলের (pulley) উপর দিয়া ঘুরিয়া খাড়াভাবে নামে। উহাদের দুই প্রান্তে দুইটি সমান ওজন (M, M) ঝুলান থাকে। এই দুই ওজনের পার্শ্বে দুইটি খাড়া স্কেল লাগান থাকে।

প্রথমে ড্রামকে নীচের শলাকা হইতে পৃথক করিয়া হাতল ঘুরাইয়া ড্রামের গাত্রে সুতা জড়ান হয়, যতক্ষণ পর্যন্ত না ওজন (M, M) উপরে একটি নির্দিষ্ট লেভেলে উঠে। তাহার পর ক্যালরিমিটারে জল লওয়া হয়, যাহাতে সমস্ত পাত (V_2) ডুবিয়া যায়। তাহার পর পিন (S) আবার লাগাইয়া ছাড়িয়া দেওয়া হয়, যাহাতে (M, M) নিজেদের ওজনের জন্য নীচের দিকে পড়িতে থাকে। ফলে শলাকা এবং পাত (V_2) ঘুরিতে থাকে। ওজন (M, M) মুক্তভাবে পড়িতে চেষ্টা করে, কিন্তু পাত (V_2) ঘুরিতে গেলে ক্যালরিমিটারের জলকেও সঙ্গে সঙ্গে ঘুরাইতে চেষ্টা করে। আটকান পাতগুলি (V_2) জলকে ঘুরিতে বাধা দেয়। পাত (V_2)-এর যতই দ্রুতি (speed) বাড়িতে থাকে, আটকান পাত (V_1) ততই জোরে বাধা দেয়। ফলে একটি দ্রুতি হইবার পর পাত (V_2)-এর দ্রুতি আর বাড়ে না, উহারা সমান দ্রুতিতেই ঘুরিতে থাকে। ফলে নামিতে আরম্ভ করিবার কিছুক্ষণ পরে ওজন (M, M)-এর গতিবেগ আর বাড়ে না, সম গতিবেগে উহারা পড়িতে থাকে। পড়িতে আরম্ভ করিবার পূর্বে স্কেলের যে স্থানে M, M থাকে তাহা লক্ষ্য করা হয়। তাহার পর সম গতিবেগ সৃষ্ট হইলে একটি স্টপ ওয়াচের সাহায্যে কত সময়ে কত দূরত্বে পড়িল তাহা দেখিয়া সমগতিবেগের পরিমাণ (ধর, v সে. মি./সে.) নির্ণয় করা হয়। যখন ওজন (M, M) প্রায় নীচে চলিয়া আসিয়াছে তখন স্কেলের কোন্ স্থানে আসিয়াছে তাহা (ধর, h সে. মি. নীচে) লক্ষ্য করিয়াই পিন (S) সরাইয়া দেওয়া হয়। সঙ্গে সঙ্গে হাতল ঘুরাইয়া ওজন (M, M)-কে আবার উপরে পূর্বস্থানে তুলিয়া লওয়া হয়। এইভাবে বার বার (ধর, n সংখ্যক

বার) এইরূপ করা হয়। পরীক্ষা আরম্ভ হইবার ঠিক পূর্বে এবং শেষে ক্যালরিমিটারের উষ্ণতা একটি সুবেদী (sensitive) থার্মোমিটার দ্বারা নির্ণয় করা হয়।

প্রত্যেকবার নামিতে আরম্ভ করিবার ঠিক পূর্বে, দুই ওজনের মোট স্থিতি শক্তি (Potential Energy)—যদি প্রত্যেক ওজনের ভর হয় M গ্রাম—হইবে 2 Mgh আর্গ। যদি শলাকা ও পাত (V_2) ঘুরিতে কোনও বাধা না পাইত তবে ওজন দুইটি মুক্তভাবে পড়িত এবং h সে. মি. পড়িবার পর উহাদের মোট গতিশক্তি হইত $2\times\frac{1}{2}Mv^2$ বা Mv^2, আর $2Mgh$ ও Mv^2 সমান হইত। কিন্তু পাতগুলিও (V_1) জল দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হওয়ায় ঐ প্রাথমিক গতিশক্তির একাংশ ঐ বাধা দূর করিতে খরচ হয়, এবং ফলে $2Mgh$ অপেক্ষা Mv^2 কম হয়। সুতরাং প্রতিবার ওজন নামিবার ফলে $2Mgh-Mv^2$ পরিমাণ যান্ত্রিক শক্তি অদৃশ্য হইয়া তাপে রূপান্তরিত হইয়াছে এবং ক্যালরিমিটার ও জলের উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইয়াছে।

অতএব, n সংখ্যক বার পতন হওয়ায় যে পরিমাণ যান্ত্রিক শক্তি তাপে রূপান্তরিত হইয়াছে, তাহা $n(2Mgh-Mv^2)$ আর্গ।

যেহেতু, ক্যালরিমিটার এবং জলের প্রাথমিক ও অন্তিম উষ্ণতা যথাক্রমে $t_1°$ ও $t_2°$ সেন্টিগ্রেড, সেই হেতু সৃষ্ট তাপের পরিমাণ $m\times1\times(t_2-t_1)$ ক্যালরি, যদি ক্যালরিমিটার ও জলের মোট জলবিকল্প হয় m গ্রাম।

$$\therefore\ J=\frac{W}{H}=\frac{(2Mgh-Mv^2)n}{m(t_2-t_1)}\ \text{আর্গ/ক্যালরি।}$$

দ্রষ্টব্য : এই পরীক্ষায় সম্ভাব্য সকল প্রকার ভুল এড়াইবার বা সংশোধন করিবার চেষ্টা হইয়াছিল। ক্যালরিমিটার বাহিরের বায়ু অপেক্ষা গরম হইবামাত্র কিছু কিছু তাপ পরিবহণ ও বিকিরণ (conduction and radiation) দ্বারা বাহির হইয়া যায়। ইহার পরিমাণ হিসাব করিয়া বাহির করা হইয়াছিল এবং সেই অনুসারে শেষ উষ্ণতা সংশোধন করা হইয়াছিল। কপি (pulley) দুইটি একেবারে মসৃণ হওয়া সম্ভব নয়। উহাতে ঘর্ষণের জন্য কিছু যান্ত্রিক শক্তি ব্যয়িত হয়। পাতগুলি (V_2) ঘুরিবার সময় সামান্য শব্দ হয় এবং কিছু যান্ত্রিক শক্তি শব্দ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এই দুই রূপান্তরিত শক্তির পরিমাণ হিসাব করিয়া বাহির করা এবং প্রয়োজনীয় সংশোধন প্রয়োগ করা হইয়াছিল। কিন্তু (t_2-t_1) এত কম হইয়াছিল যে ডঃ জুলের মূল পরীক্ষায় সমস্ত প্রচেষ্টা সত্ত্বেও কিছু ভুল থাকিয়া গিয়াছিল।

6·4. তাপগতি তত্ত্বের প্রথম সূত্র (First Law of Thermodynamics) : তৃতীয় পরিচ্ছেদে বলবিদ্যা সম্বন্ধে আলোচনা করা হইয়াছে। উহা বস্তুর গতি সম্বন্ধে নানা পরীক্ষা, অভিজ্ঞতা ও যুক্তির উপর নির্ভরশীল কয়েকটি সূত্রের উপর ভিত্তি করিয়া প্রতিষ্ঠিত। তাপ শক্তিরই একটি রূপ। যান্ত্রিক কার্য হইতে তাপ পাওয়া যায়। আবার তাপ হইতেও যান্ত্রিক কার্য পাওয়া যায়। তাপ

বস্তুর আভ্যন্তরীণ শক্তির (Internal Energy) সহিত যুক্ত। কোন বস্তুকে তাপ দেওয়া যায় এবং উহা হইতে তাপ বাহির করিয়া লওয়া যায়। তাপের এই সকল ক্রিয়া ও প্রক্রিয়া সম্পর্কীয় তত্ত্বকে বলে **তাপগতি তত্ত্ব** (Thermodynamics)। বলবিদ্যার ন্যায় এই তত্ত্বও নানা পরীক্ষা, অভিজ্ঞতা ও যুক্তির উপর নির্ভরশীল কয়েকটি সূত্রের উপর ভিত্তি করিয়া প্রতিষ্ঠিত। ইহার প্রথম সূত্র §6·2-অনুচ্ছেদে তাপের যান্ত্রিক তুল্যমান সম্বন্ধে আলোচনাকালে বলা হইয়াছে। নিম্নে ইহা রীতিগতভাবে আলোচনা করা হইতেছে :

যখনই যান্ত্রিক শক্তি (বা অন্য কোন রূপের শক্তি) তাপে রূপান্তরিত হয় বা তদ্বিপরীতভাব (vice versa) **হয়, তখন এই যান্ত্রিক শক্তির (বা অন্য কোন রূপের শক্তির) পরিমাণ ও তাপের পরিমাণ, এই দুইয়ের মধ্যে একটি নির্দিষ্ট অনুপাত থাকে।**

ইহাই হইতেছে তাপগতি তত্ত্বের প্রথম সূত্র। এই সূত্র অনুযায়ী, যে কোনও পদ্ধতি অনুযায়ী W একক যান্ত্রিক শক্তি যদি H একক তাপে পরিণত হয়, তবে—

$$\frac{W}{H} = \text{ধ্রুবক} = J \text{ (ধর)}$$

বা, $W = JH$; ইহাই সমীকরণ (6·2·1)

আগেই আলোচনা করা হইয়াছে যে, যদি সি.জি.এস পদ্ধতি অনুযায়ী হিসাব করা হয় তবে W আর্গ = JH ক্যালরি

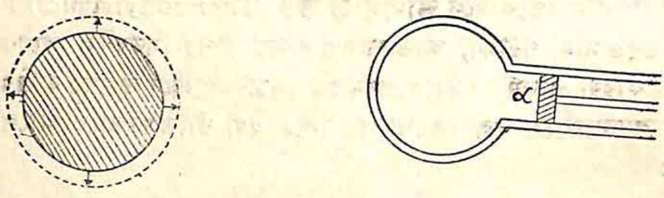
$$\text{বা,}\quad J = \frac{W}{H}\ \text{আর্গ/ক্যালরি} = 4·18 \times 10^7\ \text{আর্গ/ক্যালরি।}$$

এফ.পি.এস. পদ্ধতি অনুযায়ী J-র মান হইবে 778 ফুট-পাউণ্ড প্রতি ব্রিটিশ-তাপীয় একক (ft.-lbs. per B. Th. U.)।

আবার, এই সূত্র হইতে W কার্য একক শক্তি রূপান্তরিত হইয়া H একক তাপে পরিণত হইতেছে। সুতরাং W কার্য একক শক্তি তাপ এককে হয় $\frac{W}{J}$ একক।

6·5. গ্যাসের সমোষ্ণ ও রুদ্ধতাপ প্রসারণ (Isothermal and Adiabatic Expansion of Gases) : কোন পরিমাণ গ্যাস কোন স্থানে আবদ্ধ থাকিলে ঐ গ্যাস আবদ্ধকারী পৃষ্ঠের উপর চাপ দেয়। চিত্র 29(A)-তে উহা দেখানো হইয়াছে। ইহাই গ্যাসের ধর্ম। ধর, ঐ আবদ্ধকারী পৃষ্ঠকে কিছুটা ছিদ্র করিয়া একটি নলের সহিত সংযুক্ত করা হইয়াছে এবং একটি বায়ু-নিরোধক পিস্টন বসান হইয়াছে। (চিত্র নং 29 (B))। মনে কর, পিস্টনটি খুব হাল্‌কা এবং নলের ভিতরের গাত্র মসৃণ, আর পিস্টন, নল ও আবদ্ধকারী পৃষ্ঠ অত্যন্ত সুপরিবাহী (good conductor) পদার্থের তৈয়ারী। তাহা হইলে গ্যাসের চাপের জন্য পিস্টনটি **ধীরে ধীরে** বাহিরের দিকে আসিবে, গ্যাসের আয়তনও বৃদ্ধি পাইবে। যেহেতু পিস্টন বাহিরের চাপ (বা বল) অতিক্রম করিয়া চলিতেছে ; সুতরাং যেমন আয়তন বৃদ্ধি পাইতেছে সঙ্গে সঙ্গে আবদ্ধ

গ্যাস যান্ত্রিক-কার্য করিতেছে, অর্থাৎ যান্ত্রিক শক্তি ব্যয় করিতেছে। তাপগতি তত্ত্বের প্রথম সূত্র অনুযায়ী আবদ্ধ গ্যাস এই শক্তির তুল্যমান তাপ হারাইতেছে এবং তদনুযায়ী



A চিত্র নং 29 B

উহার উষ্ণতাও হ্রাস পাইবে। কিন্তু বাহিরের পরিবেশের উষ্ণতা ত আর কমিতেছে না। ফলে যেমন গ্যাসের প্রসারণ হইবে সঙ্গে সঙ্গে বাহির হইতে তাপ প্রবেশ করিয়া গ্যাসের উষ্ণতা কমিতে দিবে না। গ্যাসের তাপ এবং আভ্যন্তরীণ শক্তি ঠিক থাকিবে। কেবল প্রসারণের ফলে গ্যাসের চাপ হ্রাস পাইবে। গ্যাসের চাপের এই হ্রাস বয়েলের সূত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হইবে [দ্বিতীয় পরিচ্ছেদে বয়েলের সূত্র সম্বন্ধে আলোচনা করা হইয়াছে]। ইহা হইল—

PV = ধ্রুবক [কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন ও চাপ যথাক্রমে V ও P]।

গ্যাসের এই প্রসারণকে বলে **সমোষ্ণ প্রসারণ** (Isothermal Expansion)।

মনে কর, আবদ্ধকারী পৃষ্ঠ, নল ও পিস্টন অত্যন্ত কু-পরিবাহী (Bad conductor) পদার্থের তৈয়ারী। তাহা হইলে একইরূপে প্রসারণ ঘটিবে। কিন্তু এই প্রসারণের ফলে যখন গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধির সাথে আভ্যন্তরীণ শক্তি, তাপ ও উষ্ণতা হ্রাস পায় তখন কু-পরিবাহী আবরণের জন্য বাহির হইতে তাপ আসিতে পারে না। সুতরাং প্রসারণের সঙ্গে গ্যাসের উষ্ণতাও কমিতে থাকে। এই প্রসারণকে বলে **রুদ্ধতাপ প্রসারণ** (Adiabatic Expansion)। ইহার ফলে গ্যাস শীতল হয়। এই গ্যাসের যে কোন আয়তন V-এর যদি চাপ হয় P, তবে উহাদের মধ্যকার সম্পর্ক বয়েলের সূত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় না। এই নূতন সম্পর্ক হইল—

$$PV^{\gamma} = \text{ধ্রুবক}$$

এখানে γ একটি ধ্রুবক। উহা গ্যাসের প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল। নিম্নে এ সম্বন্ধে আরও আলোচনা করা হইতেছে।

6·6. **গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ (Specific Heats of Gases) :** কোন পদার্থের এক গ্রাম ভরের 1° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে যত ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হয় তাহাকে ঐ পদার্থের **আপেক্ষিক তাপ** বলে।

কোন গ্যাসের একটি নির্দিষ্ট ভরকে একটি স্থানে আবদ্ধ করিয়া যদি তাহাতে তাপ দেওয়া হয়, তবে গ্যাসের উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইবে, তাহার সহিত চাপও বৃদ্ধি পাইবে।

আবদ্ধকারী পৃষ্ঠ যদি নমনীয় হয় তবে ভিতরের চাপ বৃদ্ধি হইলেই আয়তন বাড়িতে থাকিবে যতক্ষণ না ভিতরের চাপ কমিয়া বাহিরের চাপের সমান হয়। ফলে সমচাপে গ্যাসের আয়তন প্রসারণ হইবে। এই প্রসারণে গ্যাস যান্ত্রিক কার্য ও যান্ত্রিক শক্তি ব্যয় করিবে এবং যে তাপ বাহির হইতে দেওয়া হইল তাহার একাংশ রূপান্তরিত হইয়া ঐ পরিমাণ যান্ত্রিক শক্তিতে পরিণত হইবে। বাকী তাপ ঐ গ্যাসের উষ্ণতা বৃদ্ধি করিবে। সুতরাং ঐ ভরের গ্যাসকে উত্তপ্ত করিতে যত তাপের প্রয়োজন হওয়া উচিত, তাহা অপেক্ষা বেশী তাপ লাগিবে। যদি ঐ গ্যাসই দৃঢ় পৃষ্ঠ দ্বারা আবদ্ধ থাকিত তবে উহাকে তাপ প্রদান করিলে পৃষ্ঠের উপর চাপ বাড়িত কিন্তু প্রসারণ হইত না, তাহার জন্য কোন যান্ত্রিক শক্তিও ব্যয়িত হইত না, প্রদত্ত সমস্ত তাপ আবদ্ধ গ্যাসের উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে ব্যয়িত হইত। ফলে একই ভরের গ্যাসকে এইভাবে একই পরিমাণ উত্তপ্ত করিতে কম তাপের প্রয়োজন হইত। সুতরাং একটি কঠিন বা তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলিতে যাহা বুঝায় একটি গ্যাসীয় পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলিতে তাহা বুঝাইবে না। গ্যাসকে কি অবস্থায় উত্তপ্ত করা হইতেছে তাহার উপর প্রয়োজনীয় তাপ নির্ভর করিবে, সমচাপে না সমআয়তনে। সুতরাং কোন গ্যাসীয় পদার্থের আপেক্ষিক তাপ দুইটি : সমচাপে ও সমআয়তনে। উহাদের সংজ্ঞা নিম্নরূপ—

(i) কোনও গ্যাসীয় পদার্থের এক গ্রাম ভরকে সমচাপে রাখিয়া 1° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে যত ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হয় তাহাকে বলে ঐ গ্যাসের সমচাপে আপেক্ষিক তাপ (Specific Heat at Constant Pressure)। উহার প্রতীক C_p।

(ii) কোনও গ্যাসীয় পদার্থের এক গ্রাম ভরকে সম আয়তনে 1° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে যত ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হয় তাহাকে বলে ঐ গ্যাসের সম আয়তনে আপেক্ষিক তাপ (Specific Heat at Constant Volume)। উহার প্রতীক C_v।

স্বভাবতঃই, $C_p = C_v +$ সমচাপে প্রসারণে কৃতকার্য। আর, এই দুই আপেক্ষিক তাপের অনুপাতকে বা $\frac{C_p}{C_v}$ কে সাধারণতঃ γ প্রতীক দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। নিম্নে এ সম্পর্কে আরও আলোচনা করা হইয়াছে।

6·7. রুদ্ধতাপ প্রসারণ (Adiabatic Expansion): § 6·5. অনুচ্ছেদে রুদ্ধতাপ প্রসারণ সম্বন্ধে আলোচনা করা হইয়াছে, কোন গ্যাসকে কু-পরিবাহী পৃষ্ঠে আবদ্ধ করিয়া প্রসারণ ঘটাইলে উহার উষ্ণতা কমিয়া যায়। কিন্তু কু-পরিবাহী পৃষ্ঠ অপরিহার্য নয়। প্রসারণ ঘটিলেই তজ্জনিত কৃতকার্যের জন্য আভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস পায় এবং উষ্ণতা কমে। যদি বাহির হইতে তাপ আসিয়া এই হ্রাস পূরণ করিতে না পারে, তবে রুদ্ধতাপ প্রসারণ হয়। যদি কু-পরিবাহী আবরণ নাও থাকে, আর প্রসারণ যদি

অকস্মাৎ ও দ্রুত হয় তবে ঐ প্রসারণ রুদ্ধতাপ হইবে এবং উষ্ণতা দ্রুত হ্রাস পাইবে। আবার, যদি কোন গ্যাসের অকস্মাৎ ও দ্রুত সংনমন (compression) হয় তাহা হইলে উষ্ণতা দ্রুত বৃদ্ধি পাইবে। উভয় ক্ষেত্রেই বয়েলের সূত্র খাটিবে না।

$$PV^{\gamma} = \text{ধ্রুবক।} \quad [\gamma = \frac{C_p}{C_v}]$$

গ্যাসের অণু কয়টি পরমাণু লইয়া গঠিত তাহার উপর γ-র মান নির্ভর করে। বায়ুর বেলায় পরমাণু সংখ্যা 2 এবং $\gamma = 1{\cdot}44$।

আজকাল বহু বাড়ীতে যে শীতাতপ-নিয়ন্ত্রক যন্ত্র (air-conditioner) এবং ঘরে ঘরে ফ্রিজ্ (Refrigerator) ব্যবহৃত হয়, সেগুলিতে রুদ্ধতাপ প্রসারণের দ্বারা উষ্ণতা হ্রাস করা হয়। আবার, বাতাসে হঠাৎ ধাক্কা লাগিলে যে শব্দ-তরঙ্গ সৃষ্টি হয় তাহাতেও ধাক্কা অকস্মাৎ হয় বলিয়া যে দ্রুত পরিবর্তনশীল প্রসারণ ও সংনমন হয়, তাহাও রুদ্ধতাপ প্রসারণ ও সংনমন।

প্রশ্নমালা

1. তাপের যান্ত্রিক সমতা কাহাকে বলে ? সি. জি. এস. পদ্ধতিতে ইহার মান কত ?

2. তাপের যান্ত্রিক সমতার পরীক্ষার একটি বর্ণনা দাও। জুল কাহাকে বলে ?

3. তাপের যান্ত্রিক সমতা 4·2 জুল প্রতি ক্যালরি বলিতে কি বুঝায় ?

4. সমতাপীয় প্রসারণ ও রুদ্ধতাপীয় প্রসারণের পার্থক্য কি বুঝাইয়া লেখ।

5. পৃথিবীর ভূপৃষ্ঠ হইতে 100 মিটার উচ্চে একটি 1 কিলোগ্রাম ওজনবিশিষ্ট বস্তুকে লইয়া গিয়া ছাড়িয়া দেওয়া হইল। মাটিতে পড়িলে তাহার মধ্যে কত তাপ উৎপন্ন হইল ? [$g = 980$ সে. মি./সেকেণ্ড^2]

[উত্তর : 233 ক্যালরি।]

6. গ্যাসীয় পদার্থের যে দুই প্রকার আপেক্ষিক তাপ আছে, তাহাদের সংজ্ঞা দাও।

7. একটি আদর্শ গ্যাসের চাপ ইহার অনুগতি তত্ত্বের দ্বারা কিভাবে প্রকাশ করা হয় ?

8. তাপীয় গতিতত্ত্বের প্রথম সূত্রের সংজ্ঞা দাও।

9. এক আতস কাঁচ দ্বারা একটি বিন্দুতে সূর্যকিরণ কেন্দ্রীভূত করা হইতেছে। প্রতি সেকেণ্ডে যদি 3 ক্যালরি তাপ শক্তি উদ্ভূত হইতে থাকে, তবে ঐ কিরণের কার্যক্ষমতা কত ?

[উত্তর : 12·6 ওয়াট।]

সপ্তম পরিচ্ছেদ

গ্যাসের অণুগতিবাদ

(Kinetic Theory of Gases)

7·1. পদার্থের আণবিক গঠন (Molecular Structure of Matter) : ষষ্ঠ পরিচ্ছেদে (§6·1) আলোচনা করা হইয়াছে যে, তাপ হইতেছে পদার্থের আভ্যন্তরীণ শক্তি। এই শক্তি কিরূপে থাকে? **কাউন্ট রামফোর্ড** (Count Rumford) লক্ষ্য করেন, ঘর্ষণের ফলে তাপের সৃষ্টি হয় এবং এইভাবে অফুরন্ত তাপ সৃষ্টি করা যায়। আবার দুই খণ্ড বরফ ঘষিলে তাপও সৃষ্টি হয়; আর বরফও জলে পরিণত হয়। সেইজন্য তিনি ঘোষণা করেন, **তাপ শক্তি গতিরই একটি রূপ।** এই ঘোষণার উপর তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক সম্বন্ধে ধারণার সৃষ্টি হয়, জুল, রোলাণ্ড এবং তাঁহাদের পর আরও অনেকে পরীক্ষা দ্বারা এই তুল্যাংক পরিমাপ করেন [§ 6·2 দ্রষ্টব্য]।

তাহার পরই প্রশ্ন উঠিল, তাপ শক্তির উৎস যে গতি, সেই গতি কাহার? 1857 সালে ইহার উত্তর দিলেন **ক্লসিয়াস** (Clausius)। তিনি বলিলেন, কোন গ্যাসের তাপ ঐ গ্যাসের সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্র কণা বা অণুগুলির গতি।

1807 সালে **ডাল্টন** (Dalton) রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলাফল লক্ষ্য করিয়া এবং অন্যান্য প্রাকৃতিক ঘটনা (phenomena) বিশ্লেষণ করিয়া এই ধারণায় আসেন যে, সকল পদার্থই যৌগিক (বা মৌলিক) অণু দ্বারা গঠিত। ভর এবং অন্যান্য ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মে এই অণুগুলি পরস্পর সদৃশ। এই অণুগুলি যদি গ্যাসীয় পদার্থের হয়, তবে সর্বদাই ইতস্ততঃ গতিশীল (random motion)। এই গতিশীলতাই তাপের উৎস। কঠিন পদার্থে এই অণুগুলি খুব কাছাকাছি থাকে। তরল পদার্থে কিছুটা মুক্ত। গ্যাসীয় পদার্থে আরও মুক্ত এবং অনেক দূরে দূরে তাহাদের সাময়িক অবস্থান। সেইজন্য গ্যাসীয় পদার্থের অণু মুক্তভাবে ইতস্তত: চলাফেরা করে; ইহাই গ্যাসের অণুগতিবাদের মূলকথা। ইহা এখন আর কল্পনাবিলাস নয়। ইহা দ্বারা বহু প্রাকৃতিক ঘটনার ব্যাখ্যা করা হইয়াছে বহু ঘটনার ভবিষ্যদ্বাণী করা হইয়াছে এবং পরে এই ভবিষ্যদ্বাণী সফল প্রমাণিত হইয়াছে।

7·2. অণুর অস্তিত্ব ও তাহাদের গতির প্রমাণ : অণুর অস্তিত্ব ও তাহাদের গতির প্রমাণ বহু ঘটনা ও পরীক্ষা হইতে পাওয়া যায়।

(i) হাইড্রোজেন গ্যাস অপেক্ষা কার্বন ডাই-অক্সাইড (CO_2) 22 গুণ ভারী। একটি কার্বন ডাই-অক্সাইড ভর্তি বেলনের উপর একটি হাইড্রোজেন ভর্তি বেলন উল্টাইয়া ধরিলে কিছুক্ষণ পরে উপরের বেলনে কার্বন ডাই-অক্সাইড ও নীচের বেলনে হাইড্রোজেন পাওয়া যাইবে। এই প্রক্রিয়াকে বলে **ব্যাপন** (Diffusion)। আবার, জলের উপর আরও হালকা কোহলের স্তর ঢালিলে দেখা যায় উভয়ে মিলিয়া

একটি মিশ্রণ তৈয়ারী হইয়াছে। এই প্রক্রিয়া (ব্যাপন) প্রমাণ করে যে অণুগুলি (তরল ও গ্যাসের) সদা গতিশীল।

(ii) গ্যাস সব সময়েই প্রসারণ চায় এবং আবদ্ধকারী পৃষ্ঠের উপর সেইজন্য চাপ দেয়।

(iii) বাষ্পায়ন ও বাষ্পচাপ প্রমাণ করে একই জিনিস।

(iv) গ্যাসের অণুগতিবাদ হইতে গ্যাস সূত্র প্রমাণ করা যায়। অণুগতিবাদ হইতে আপেক্ষিক তাপ, অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা (Avogadro Number), আণবিক ব্যাস প্রভৃতির মান বাহির করা যায় এবং দেখা যায়, এই মান পরীক্ষার দ্বারা নির্ধারিত মান বা পদার্থবিজ্ঞানের অন্যান্য শাখা হইতে হিসাব করা মানের প্রায় সমান।

(v) তরল বা গ্যাসের মধ্যে যে অণুগুলি অস্থিরভাবে ছুটাছুটি করে তাহা একরূপ শক্তিশালী অণুবীক্ষণ যন্ত্রের দ্বারা পরোক্ষভাবে দেখা যায়। এই যন্ত্রকে বলে অতি-অণুবীক্ষণ যন্ত্র (ultra-microscope)। আর এই ধরনের অস্থির ভাবে ছুটাছুটিকে বলে **ব্রাউনীয় আন্দোলন** (Brownian Movement)।

7·3. ব্রাউনীয় আন্দোলন : 1827 সালে উদ্ভিদবিজ্ঞানী **ব্রাউন** ইহা আবিষ্কার করেন। যদি কোন কলয়ীডাল দ্রবণ (Colloidal solution) একটি শক্তিশালী অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে ভাল করিয়া লক্ষ্য করা যায়, তবে দেখা যায় দ্রবীভূত কণাগুলি অনবরত এলোমেলোভাবে ছুটাছুটি করিতেছে। কখনও একদিকে যাইতেছে, একটু গিয়াই উপরে উঠিতেছে, তাহার পরে নামিতেছে, আর একদিকে যাইতেছে, ঘুরপাক খাইতেছে ইত্যাদি। এই অনিয়মিত গতিকে বলে কণার ব্রাউনীয় গতি।

পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে, এই গতি কোন রাসায়নিক বা বৈদ্যুতিক কারণে হয় না। তাপমাত্রা বাড়িলে অথবা কম ঘনত্বে এই গতি আরও বলিষ্ঠ হয়। কণাগুলি যত ছোট হয়, উহার গতি তত বেশী বলিষ্ঠ হয়। ভিন্ন ভিন্ন কণার গতি ভিন্ন ভিন্ন রকমের হয়; কাহারও সহিত কাহারও মিল থাকে না। সুতরাং এই গতি কোন পরিচলন বা ঘূর্ণির জন্য হয় না। ইহার একমাত্র ব্যাখ্যা হইতে পারে যে, দ্রবীভূত কণাগুলি কোটি কোটি দ্রাবক কণার মধ্যে বয়ার মত ভাসিতেছে এবং দ্রাবক কণাগুলি এলোমেলোভাবে ছুটাছুটি করিতেছে। আর উহাদের ধাক্কায় দ্রবীভূত কণাগুলিও অনুরূপভাবে ছুটাছুটি করিতেছে।

এই চিত্রটি চোখের সামনে ধরিলেই গ্যাসের অণুগতিবাদ সম্বন্ধে সঠিক ধারণা লাভ করা যায়। প্রত্যেক গ্যাসীয় অণু এইরূপ এলোমেলো গতিতে চলিতে চলিতে মাঝে মাঝে আবদ্ধকারী পৃষ্ঠের উপর কম বেগে ধাক্কা দিবে। কখনও বেশী বেগে কখনও ধাক্কা দিবে। কোটি কোটি অণুর এইরূপ ধাক্কার ফলে একটি নির্দিষ্ট সময়ে

আবদ্ধকারী পৃষ্ঠের উপর একটি নির্দিষ্ট ধাক্কা পড়িবে। ফলে উহার উপর একটি নির্দিষ্ট চাপ সৃষ্টি হইবে।

7·4. গ্যাসের অণুবাদ ঃ ব্রাউনীয় গতি হইতে গ্যাসের অণুগুলির গতি-প্রকৃতি সম্বন্ধে একটি স্পষ্ট ধারণা তোমাদের হইয়াছে। কঠিন পদার্থে অণুগুলির ঘন সন্নিবেশ ঘটে ; তরলে কিছুটা দূরে দূরে থাকে ও তাহাদের মধ্যে বেশ ফাঁক থাকে, যে কোন অণু তাহার মধ্য দিয়া চলিতে ফিরিতে পারে। গ্যাসের মধ্যেও অণুগুলির মধ্যে মধ্যে অনেক বেশী ফাঁক থাকে। অণুগুলি অত্যন্ত ক্ষুদ্র। একটি আবদ্ধ আয়তনের গ্যাসের যতগুলি অণু থাকে তাহাদের মোট আয়তন সমগ্র আবদ্ধকারী আয়তনের তুলনায় প্রায় নগণ্য। সেইজন্য অণুগুলি ইতস্ততঃ এলোমেলোভাবে চলাচল করিতে বিশেষ বাধা পায় না, কিন্তু আবদ্ধকারী পৃষ্ঠে মাঝে মাঝে ধাক্কা দেয় এবং চাপ সৃষ্টি করে। ইহাই গ্যাসের চাপ। পরবর্তী পৃষ্ঠায় চিত্র নং 30 (a)-তে একটি আয়তাকার বাক্স দেখা যাইতেছে। উহার ভিতরে আবদ্ধ গ্যাসের ভিন্ন ভিন্ন অণুর ভিন্ন ভিন্ন দিকে ভিন্ন ভিন্ন মানের গতি দেখান হইয়াছে। যত ছোটই হউক প্রতি অণুর একটি নির্দিষ্ট ভর ও জাড্য আছে। যখনই কোন অণু কোন দিকে চলে, তখন নিউটনের গতিসূত্র অনুযায়ী উহা সেই দিকে সরলরেখা ধরিয়া সমগতিতে চলে, যতক্ষণ পর্যন্ত না উহা অন্য কোন অণুকে বা আবদ্ধকারী পৃষ্ঠকে ধাক্কা দেয়। কোন অণু যে কোন দিকে চলিতে পারে। কোন নির্দিষ্ট দিকে চলিবার কোন প্রবণতা নাই। বাক্সটির ছয়টি সমতল পৃষ্ঠ তিনটি পরস্পর অভিলম্ব দিকে আছে। যেহেতু বাক্সের মধ্যে কোটি কোটি অণু রহিয়াছে। সুতরাং ধরা যায় সমগ্র অণুসংখ্যার এক-তৃতীয়াংশ এক এক দিকে চলিতেছে। আবার, প্রতি দিকের ধনাত্মক ও ঋণাত্মক দুইটি আলাদা দিক্ আছে। সুতরাং ধরা যায়, বাক্সের প্রতি পৃষ্ঠের উপর এক-ষষ্ঠাংশ অণু আঘাত হানিতেছে। কিন্তু কোন অণুর যেমন আবদ্ধকারী পৃষ্ঠের উপর আঘাত হানার সম্ভাবনা আছে, তেমনি আর একটি অণুর উপরও আঘাত হানার কিছু সম্ভাবনাও আছে। এই হিসাব সহজ ও সরল করিবার জন্য যদি ধরা যায় যে, অণুগুলির সেই আয়তন বাক্সটির সমগ্র আয়তনের তুলনায় একেবারেই নগণ্য, তবে পরের সম্ভাবনা নাই বলিয়াই ধরা যাইতে পারে। অর্থাৎ যেন প্রত্যেকটি অণু একটি ভর বিন্দু (point mass); উহার ভর আছে, আয়তন নাই। এই কল্পিত গ্যাসকে বলে **আদর্শ গ্যাস** (Ideal Gas) বা **জাড্য গ্যাস** (Perfect Gas)। যদি আবদ্ধ গ্যাসে অণুর সংখ্যা কম থাকে তাহা হইলে ঐ গ্যাসকে আদর্শ গ্যাস ধরিলে ভুল কিছু হয় না। কিন্তু যদি অণুর সংখ্যা খুব বেশী হয়, তাহা হইলে অণুগুলির পারস্পরিক সংঘাতের সম্ভাবনা হিসাবের মধ্যে আনিতে হয়। তখন হিসাব কিছু জটিল হয়। সেই গ্যাসকে বলে **বাস্তব গ্যাস** (Real Gas)। আমরা আমাদের আলোচনা আদর্শ গ্যাসের ভিত্তিতেই সীমাবদ্ধ রাখিব।

আদর্শ গ্যাসের অণুগতিবাদের আলোচনায় কয়েকটি আনুমানিক যুক্তি। (assumption)—

(1) অণুগুলি বিভিন্ন গতিতে এলোমেলোভাবে অবিশ্রান্ত চলিতেছে কিন্তু তাহার

জন্য ভিন্ন ভিন্ন স্থানে আণবিক ঘনত্বের (molecular density) কোন তারতম্য হয় না ; কোন একস্থান অপেক্ষা আর একস্থানে বেশী ভীড় করে না।

(2) একটি সংঘাতের পরে আর একটি সংঘাত পর্যন্ত সময় প্রত্যেক অণু একটি সরলরেখা ধরিয়া সমগতিতে যায়।

(3) প্রতি অণু একটি ভর বিন্দু, ভর আছে কিন্তু আয়তন নাই। ফলে উহাদের নিজেদের মধ্যে কোন সংঘাত হয় না।

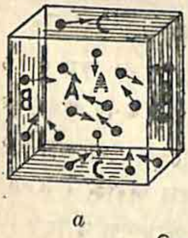
(4) একটি সংঘাতের সময়সীমা প্রায় নাই বলিলেই চলে। ইহা একেবারে শূন্য হইতে পারে না, তবে দুই সংঘাতের মধ্যবর্তী সময়ের তুলনায় ইহা নগণ্য।

(5) অণুগুলির মধ্যে বা কোন অণু ও আবদ্ধকারী পৃষ্ঠের মধ্যে কোন আকর্ষণ বা বিকর্ষণ হয় না। অণুগুলি আদর্শ স্থিতিস্থাপক দৃঢ় গোলক, যাহাতে সমস্ত সংঘাত স্থিতিস্থাপক সংঘাত, সুতরাং আভ্যন্তরীণ শক্তি পুরাপুরি গতি শক্তি, স্থিতি শক্তি কিছু নাই।

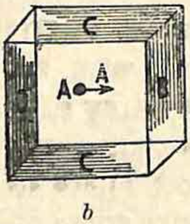
এই সকল আনুমানিক যুক্তির ভিত্তিতে আদর্শ গ্যাস সম্বন্ধে একটি চিত্র চোখের সামনে পরিষ্কার হইয়া উঠে। ইহার উপর নির্ভর করিয়া আদর্শ গ্যাসের চাপ হিসাব করা যায়।

7·6. আদর্শ গ্যাসের চাপ (Pressure of an Ideal Gas) : চিত্র নং 30 (*b*)-তে একটি ঘনক বাক্স দেখা যাইতেছে। বাক্সটির মধ্যে একটি অণুকে অনুসরণ করা যাউক। ধর, ঘনকের বাহু a, উহার মধ্যে আবদ্ধ গ্যাস অণুর সংখ্যা N এবং প্রতি অণুর ভর m।

চিত্রে দৃষ্ট অণুর গতি যে কোন দিকে থাকিতে পারে। উহা (A, A) বা (B, B) বা (C, C) যে কোন পৃষ্ঠে ধাক্কা দিতে পারে, সবই **সমান সম্ভাবনাপূর্ণ**। সুতরাং ধরা যায়, যে কোন পৃষ্ঠে এক-ষষ্ঠমাংশ অণু ধাক্কা দিবে। কিন্তু এই ধাক্কা পৃষ্ঠের অভিলম্ব দিকে না হইয়া তির্যক (oblique) দিকে হইতে পারে। সেক্ষেত্রে তির্যক দিকে অণুর যে গতি অভিলম্ব দিকে তাহার একটা উপাংশ থাকিবে। এই অভিলম্ব দিকে সেইজন্য অণুর যে ভরবেগ তাহাই ঐ পৃষ্ঠের উপর ধাক্কা দিবে। ঐ পৃষ্ঠের উপর অভিলম্ব দিকে যে অণু আসিবে তাহা সংঘাতের পর একই গতিতে উল্টা-দিকের পৃষ্ঠে অনুরূপভাবে সংঘাত দিকে এবং একটি নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে একবার ডানদিকের একবার বাম দিকের পৃষ্ঠে ধাক্কা দিতে থাকিবে। কিন্তু তির্যকভাবে যাহারা ধাক্কা দিবে তাহাদের অনেকেই সংঘাতের পর, প্রথমে যদি ডানদিকে B-পৃষ্ঠে ধাক্কা দেয়, তবে তাহার পর বামদিকে B-পৃষ্ঠে না পৌছিয়া A পৃষ্ঠে বা C পৃষ্ঠে তির্যকভাবে ধাকা দিবে। কিন্তু অনুরূপভাবে A ও C পৃষ্ঠে ধাক্কা দিয়া অনেক অণু B-পৃষ্ঠে ধাকা দিবে। আবদ্ধ



a



b

চিত্র নং 30

অণুর সংখ্যা কোটি কোটি। সুতরাং প্রতিসাংখ্যিকভাবে (*Statistically*) বলা যায় আবদ্ধ অণুর এক-তৃতীয়াংশ একদিকের দুই পৃষ্ঠে (B-B) ক্রমাগত ধাক্কা দিয়া চলিবে। এই ধাক্কা 0 হইতে ∞, নানা গতিতে হইবে। গ্যাসের অণুগতিবাদ তাহাই প্রমাণিত করে। কিন্তু ইহাও মনে রাখিতে হইবে এই সমস্ত গতির উৎস গ্যাসীয় অণুগুলির আভ্যন্তরীণ শক্তি। আর এই শক্তি গ্যাসের বেলায় প্রায় পুরাপুরি গতি শক্তি। এই গতি শক্তির জন্য সকল অণুর সমান গতি থাকে না, অণুগুলির মধ্যে এলোমেলোভাবে ভাগ করা থাকে। কিন্তু মোট গতি শক্তি একই থাকে। সুতরাং কোন অণুর গতি কম, কোন অণুর বেশী, কিন্তু যতক্ষণ পর্যন্ত আভ্যন্তরীণ শক্তি না বদলাইতেছে সকলের গড় গতি ঠিকই থাকে। সুতরাং আমরা ধরিতে পারি যে, সমস্ত অণু এই গড় গতি সহ সব সময়েই ঘনকের ছয়টি পৃষ্ঠের অনুভূমিক দিকে চলিতেছে, স্থিতিস্থাপক সংঘাত হইতেছে এবং তাহার পর একই গতিতে বিপরীত দিকে চলিতেছে আবার সংঘাত হইতেছে ইত্যাদি। প্রতি জোড়া পৃষ্ঠের উপর (যেমন B-B) এক-তৃতীয়াংশ অণু এইভাবে ক্রমাগত ধাক্কা দিয়া চলিতেছে। ফলে আবদ্ধ গ্যাস ঘনকের পৃষ্ঠের উপর একটি সমচাপ সৃষ্টি করিতেছে।

এখন চিত্র নং 30 (b)তে প্রদর্শিত অণুটিকে অনুসরণ করা যাউক। উহা ডানদিকে B-পৃষ্ঠে গড় গতি C সহ ধাক্কা দিবে এবং C-গতি সহ উল্টাদিকে চলিবে। ফলে (+) B পৃষ্ঠ ভরবেগ পাইবে $mC-(-mC)=2mC$। এই অণু তাহার পর (−) B পৃষ্ঠে সংঘাত করিয়া আবার (+) B পৃষ্ঠে C-গতি সহ আবার সংঘাত করিবে। সময় লাগিবে $\frac{2a}{C}$। সুতরাং প্রতি $\frac{2a}{C}$ সেকেণ্ড পরে অণুটি একবার করিয়া (+) B পৃষ্ঠে $2mC$ ভরবেগ প্রদান করিবে। তাহা হইলে প্রতি সেকেণ্ডে সংঘাতের সংখ্যা $\frac{C}{2a}$ এবং প্রতি সেকেণ্ডে ঐ অণুর জন্য (+) B পৃষ্ঠ ভরবেগ পাইবে,

$$\frac{C}{2a}\times 2mC=\frac{mC^2}{a} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (7.61)$$

আবদ্ধ অণুর সংখ্যা N। সুতরাং (+) B পৃষ্ঠ $\frac{1}{3}$ অণুর ক্রমাগত ধাক্কার ফলে (কারণ, যাহারা প্রথমে −B-পৃষ্ঠে ধাক্কা দিল তাহার পরে +B পৃষ্ঠেও ধাক্কা দিবে এবং প্রতি $\frac{2a}{C}$ সেকেণ্ডে একবার করিয়া নিয়মিতভাবে ধাক্কা দিতে থাকিবে) প্রতি সেকেণ্ডে বহির্মুখী ভরবেগ পাইবে

$$\frac{1}{3}N.\frac{mC^2}{a}$$

নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র অনুযায়ী, ইহাই হইবে (+)B পৃষ্ঠের উপর আবদ্ধ গ্যাস দ্বারা প্রযুক্ত বল। সুতরাং আবদ্ধ গ্যাস দ্বারা প্রযুক্ত চাপ হইবে,

$$P=\frac{1}{3}.\frac{NmC^2}{a}\times\frac{1}{a^2} \quad [\text{ কারণ, B পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল } a^2]$$

$$=\frac{1}{3}\frac{NmC^2}{a^3}$$

$$=\frac{1}{3}\frac{NmC^2}{V} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (7{\cdot}6{\cdot}2)$$

যদি আবদ্ধ গ্যাসের ঘনত্ব হয় ρ, তবে $\rho=\frac{Nm}{V}$, আর

$$P=\frac{1}{3}\rho C^2 \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (7{\cdot}6{\cdot}3)$$

7·7. অণুগতিবাদ ও তাপমাত্রা (Kinetic Theory and Temperature) : তোমরা জান, কোন বস্তুর তাপ অনুসারে উহার তাপমাত্রা হয়; আর এই তাপ বস্তুটির আভ্যন্তরীণ। তোমরা ইহাও জান, বস্তুটি যদি গ্যাসীয় হয় তবে এই আভ্যন্তরীণ শক্তি প্রায় পুরাপুরি গতি শক্তি, আর বিভিন্ন গতি, ধর, C_1, $C_2 \cdots\cdots C_N$। তাহা হইলে, উহার আভ্যন্তরীণ শক্তি, $E=\frac{1}{2}m(C_1{}^2+C_2{}^2+\cdots\cdots C_N{}^2)$।

ধর, C এমন একটি গতি যে, $\overline{C}^2$ হইতেছে C_1^2, $C_2{}^2\cdots\cdots C_N{}^2$-এর গড়। তাহা হইলে, $C_1{}^2+C_2{}^2+\cdots\cdots C_N{}^2=N\overline{C^2}$

$$\therefore E=\frac{1}{2}Nm\overline{C^2}$$

এই $\overline{C}$ বিভিন্ন অণুর গতির গড় নয়, বিভিন্ন অণুর গতির বর্গের যে গড়, তাহার বর্গমূল। ইহা গড় গতি হইতে সামান্য বিভিন্ন। সমীকরণ (7·6·2), এবং (7·6·3) ঠিকভাবে লিখিলে হইবে,

$$P=\frac{1}{3}\frac{Nm\overline{C^2}}{V} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (7{\cdot}7{\cdot}1)$$

$$=\frac{1}{3}\rho\overline{C}^2 \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (7{\cdot}7{\cdot}2)$$

দেখা যাইতেছে, তাপমাত্রা বদলাইলেই E বদলাইবে, তাহার সহিত $\overline{C}$ বদলাইবে। সুতরাং কোন গ্যাসের তাপমাত্রা বাড়িলে অণুগুলির গতি অনেকেরই কিছু কিছু বাড়িবে, যাহাতে $\overline{C}$ বাড়ে। তাপমাত্রা কমিলে $\overline{C}$ কমিবে।

সমীকরণ (7·7·1) হইতে—

$$PV=\frac{1}{3}Nm\overline{C}^2$$

যদি তাপমাত্রা ধ্রুবক থাকে, তবে $\overline{C}$ ধ্রুবক এবং PV ধ্রুবক। ইহাই বয়েলের সূত্র।

7·8. গ্যাস সূত্রাবলীর সীমাবদ্ধতা (Limitations of Gas Laws) : গ্যাসের অণুগতিবাদ হইতে বিভিন্ন গ্যাস সূত্র প্রমাণ করা যায়; যেমন—বয়েলের সূত্র, গ্রাহামের সূত্র প্রভৃতি। বয়েলের সূত্রের প্রমাণ § 7·7 অনুচ্ছেদে করা হইয়াছে। কিন্তু এই অণুগতিবাদ আদর্শ গ্যাস সম্বন্ধে রচনা করা হইয়াছে। বাস্তব গ্যাসের বেলায় এই

অণুগতিবাদ সামান্য পরিবর্তিত হয়। যদি গ্যাসকে উচ্চ চাপে কম আয়তনে রাখা হয় তখন অণুর আয়তন না ধরিয়া উপায় নাই। তখন আবদ্ধকারী আয়তন অণুগুলির চলাফেরার জন্য সম্পূর্ণ উন্মুক্ত হয় না—কার্যকরী আয়তন সামান্য কম হয়। আবার, অণুগুলির মধ্যে কাছাকাছি অবস্থায় আকর্ষণ হয়, অণুগুলির মধ্যে সংঘর্ষ হয় এবং সেই সময় বিকর্ষণও হয়। এই সমস্ত বিষয় ধরিয়া অণুগতিবাদকে সামান্য পরিবর্তন করিলে দেখা যায়, বয়েলের সূত্রও সামান্য পরিবর্তিত হয়। পরিবর্তিত হইলে যে সমীকরণ পাওয়া যায় তাহা হইল **ভ্যান ডার ওয়ালের** সমীকরণ (Van der Waals' Equation)। ইহা হইল, $(P+\frac{a}{V^2})(V-b)=$ধ্রুবক [এখানে a ও b দুইটি ধ্রুবক]।

এই সমীকরণই সঠিক সমীকরণ। তবে যখন চাপ কম থাকে, তখন ইহাই বয়েলের সূত্রে মোটামুটি পরিণত হয়।

প্রশ্নমালা

1. পদার্থের আণবিক গঠন সম্বন্ধে যাহা জান সংক্ষেপে লেখ।

2. তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের অভ্যন্তরে যে অণুর গতিবেগ আছে, তাহার কিছু কিছু প্রমাণের উল্লেখ কর।

3. ব্রাউনীয় আন্দোলন কাহাকে বলে? এই আন্দোলন কিভাবে পরীক্ষা করা যায়?

4. গ্যাসীয় অণুসমষ্টির গতিতত্ত্ব সম্বন্ধে একটি রচনা লেখ।

5. আদর্শ গ্যাসীয় গতিতত্ত্বের প্রারম্ভিক অনুমানগুলির বর্ণনা দাও।

6. আদর্শ গ্যাসের চাপ বলিতে কি বোঝ? এই চাপের একটি সমীকরণ লেখ।

7. বয়েলের চাপ সূত্র গ্যাসীয় গতিতত্ত্ব দ্বারা কিভাবে সমর্থিত হয়?

8. গ্যাসীয় সূত্রাবলীর সীমাবদ্ধতার সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও।

অষ্টম পরিচ্ছেদ
তাপের সঞ্চালন
(Transmission of Heat)

8·1. তাপ সঞ্চালন ও তাহার বিভিন্ন পদ্ধতি : দৈনন্দিন অভিজ্ঞতা হইতে জানা যায় যে, একটি কম উষ্ণ বস্তু আর একটি বেশী উষ্ণ বস্তুর সংস্পর্শে রাখিলে দ্বিতীয় বস্তু তাপ হারায়, আর প্রথম বস্তু তাপ লাভ করে। সুতরাং দ্বিতীয় বস্তু হইতে তাপ সঞ্চালিত হইয়াছে, কিন্তু দ্বিতীয় বস্তুর কোন কণা স্থান ত্যাগ করে নাই। আবার গরম বায়ুর স্রোতে একটি শীতল বস্তুকে রাখিয়া গরম করা যায়। এখানে বস্তুটি যে তাপ লাভ করিল তাহা বায়ুর স্রোতের সহিত আসিয়াছে। আবার রৌদ্রে দাঁড়াইলে গরম বোধ করা যায়। অর্থাৎ তখন যে তাপ পাওয়া যায় তাহা সূর্য হইতে সঞ্চালিত হইয়া আসিয়াছে।

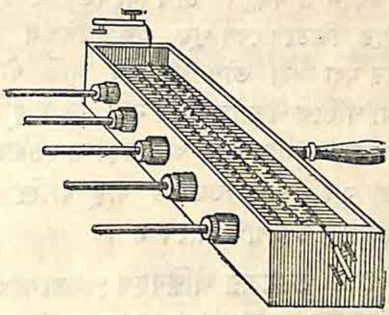
সুতরাং বলা যায়, তাপ একস্থান হইতে অন্যস্থানে চলিয়া যাইতে পারে, যদি উহার অনুকূল অবস্থার সৃষ্টি করা হয়। তাপের এই একস্থান হইতে আর একস্থানে গমনকে বলে সঞ্চালন এবং এই সঞ্চালন তিনটি বিভিন্ন পদ্ধতিতে হইতে পারে। এই তিন পদ্ধতির তিনটি উদাহরণ উপরে দেওয়া হইয়াছে। উহাদের নাম যথাক্রমে—**পরিবহণ** (Conduction), **পরিচলন** (Convection) ও **বিকিরণ** (Radiation)।

8·2. পরিবহণ ও তাহার কয়েকটি পরীক্ষা : (ক) যে-পদ্ধতিতে তাপ কোনও বস্তুর উষ্ণতর অংশ হইতে শীতলতর অংশে বা কোনও বস্তু হইতে তাহার সহিত যুক্ত অন্য একটি কম উষ্ণ বস্তুতে সঞ্চালিত হয়, কিন্তু উষ্ণতর কোনও ভরকণা নিজ স্থান ত্যাগ করে না, তাহাকে বলে **তাপ পরিবহণ** (Conduction of Heat)। ইহার সহিত তোমাদের বহু পরিচয় আছে। একটি ধাতুনির্মিত রডের এক প্রান্ত আগুনে প্রবেশ করাইয়া অপর প্রান্ত নিজ হাতে ধরিয়া থাক। কিছুক্ষণ পরেই অনুভব করিবে হাত গরম হইতেছে। আগুনের সংস্পর্শে রডের অপর প্রান্ত প্রথমে গরম হয়। তখন রডের অন্যান্য অংশ শীতল আছে। সুতরাং সংস্পর্শে থাকিবার জন্য তাপ উষ্ণ প্রান্ত হইতে শীতল প্রান্তের দিকে সঞ্চালিত হয়। কিন্তু যে ধাতুকণাগুলির মধ্য দিয়া তাপ চলে, সেই কণাগুলি কেবল তাপ যাইবার রাস্তার ন্যায় কাজ করে, কণাগুলি নিজ নিজ স্থান পরিত্যাগ করে না। সুতরাং তাপ এক্ষেত্রে পরিবহণ পদ্ধতিতে সঞ্চালিত হইতেছে। প্রতি কণা তাহার এক পার্শ্বের সামান্য গরম কণা হইতে তাপ গ্রহণ করে এবং অপর পার্শ্বের সামান্য ঠাণ্ডা কণাকে তাপ দিয়া দেয়, কিন্তু কোনও কণাই স্থান ত্যাগ করে না।

8·3. তাপ পরিবাহিতা (Thermal Conductivity) : কোনও পদার্থের যে ভৌত ধর্মের জন্য তাপ উহার মধ্য দিয়া পরিবাহিত হইতে পারে তাহাকে বলে

তাপ-পরিবাহিতা। সমস্ত পদার্থেরই এই পরিবাহিতা ধর্ম আছে; কিন্তু কাহারও মধ্য দিয়া তাপ অতি সহজেই পরিবাহিত হয়, আবার কাহারও মধ্য দিয়া তাপ সহজে পরিবাহিত হয় না। যে সকল পদার্থের (সাধারণতঃ ধাতু) মধ্য দিয়া তাপ সহজেই পরিবাহিত হয়, তাহাদের বলে সু-পরিবাহী; আর যে সকল পদার্থের মধ্য দিয়া তাপ অতি অল্প পরিমাণে পরিবাহিত হয়, তাহাদের বলে কু-পরিবাহী। কাঁচ, পশম, ফেল্ট, জল এবং প্রায় সব গ্যাসীয় পদার্থই তাপ কু-পরিবাহী। ভিন্ন ভিন্ন পদার্থের তাপ-পরিবাহিতা যে বিভিন্ন, তাহা নিম্নের একটি সহজ পরীক্ষা দ্বারা দেখান যায়, যথা—

ইনজেন্-হাউজ্-এর পরীক্ষা (Ingen-Hausz's experiment) : ইহার প্রয়োজনীয় যন্ত্র চিত্র নং 31-এ দেখান হইয়াছে। ইহার প্রধান অংশ একটি সরু, লম্বা, উপরের মুখ খোলা পাত্র; ইহার এক-দিকে থাকে কয়েকটি সমান ব্যাসের ছিদ্র। বিভিন্ন পদার্থে কিন্তু একই দৈর্ঘ্য ও আয়তনের কয়েকটি রড্ ঐ ছিদ্রগুলির মধ্যে পর পর ঢুকাইয়া দেওয়া হয়, যাহাতে প্রত্যেক ছিদ্রের বাহিরে সেই রডের একই দৈর্ঘ্য বাহির হইয়া থাকে এবং প্রতি রডের ঐ অংশের উপর মোমের একটি আস্তরণ দেওয়া হয়। তাহার পর পাত্রের ভিতরে জল ঢালিয়া একটি ইলেক্ট্রিক হিটার দিয়া গরম করা হয়। একটা নির্দিষ্ট উষ্ণতায় আসিলে তড়িৎ প্রবাহ রেগুলেটারের সাহায্যে একটু কমাইয়া এমনভাবে রাখা হয় যেন ঐ উষ্ণতা স্থির থাকে। এইবার বাহিরের দিকে লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, প্রত্যেক রডের গাত্র হইতে মোম গলিতে আরম্ভ করিয়াছে। কাহারও মোম তাড়াতাড়ি গলিতেছে; কাহারও ধীরে ধীরে গলিতেছে। কিছুক্ষণ অপেক্ষা করিবার পর দেখা যাইবে মোম **আর গলিতেছে না।** কিন্তু বিভিন্ন রডের বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের মোম গলিয়াছে। প্রথম অবস্থায় যে রডের মোম সর্বাপেক্ষা দ্রুতগতিতে গলিতে দেখা গিয়াছিল, শেষ অবস্থায় হয়ত দেখা যাইবে সেই রডের মোম সর্বাপেক্ষা বেশী গলে নাই; যে রডের মোম শেষ অবস্থায় সর্বাপেক্ষা বেশী গলিয়াছে, প্রথম অবস্থায় হয়ত তাহার মোম ধীরে ধীরে গলিয়াছে।



চিত্র নং 31

এখন, শেষ অবস্থায় বা স্থির অবস্থায় যে রডের সর্বাপেক্ষা বেশী দৈর্ঘ্যের মোম গলিয়াছে, তাহারই তাপ-পরিবাহিতা সর্বাপেক্ষা বেশী। তবে গলিত মোমের দৈর্ঘ্যের সহিত তাপ-পরিবাহিতা (Thermal conductivity) সমানুপাতিক নয়। তাপ পরিবহণের মূল সূত্র হইতে গাণিতিক হিসাব করিয়া দেখান যায় যে কোনও রডের

পদার্থের তাপ-পরিবাহিতা ঐ রডের স্থির অবস্থায় গলিত মোমের দৈর্ঘ্যের বর্গফলের সহিত সমানুপাতিক, কিন্তু স্থির অবস্থায় গলিত মোমের দৈর্ঘ্যই ধরিতে হইবে, অর্থাৎ যখন যে পর্যন্ত মোম গলিবার তাহা গলিয়া গিয়াছে, আর গলিতেছে না।

8·4. **গ্যাসের পরিবহণ ঃ** যেমন কঠিন পদার্থ তাপ পরিবহণ করে, তেমনি গ্যাস এবং তরল পদার্থও করে, কিন্তু কোনও অংশ উত্তপ্ত হইলেই সেই অংশের ঘনত্ব কমিয়া যায় এবং পরিচলন আরম্ভ হয়। সুতরাং গ্যাস বা তরলকে এমনভাবে তাপ প্রদান করিতে হইবে, যাহাতে পরিচলন না হইতে পারে। তবেই যে তাপ সঞ্চালন হয় তাহা পরিবহণ দ্বারা হয়। **সব গ্যাসীয় পদার্থই কু-পরিবাহী**। এইজন্যই উলের জামাতে তুলার জামা অপেক্ষা 'গরম' বোধ হয়। তাপমাত্রা উভয়েরই এক, তাপ-পরিবাহিতাও প্রায় এক। পার্থক্য এই যে, উলের আঁশ তুলার আঁশের তুলনায় কোঁকড়ান ও কড়া। চাপ দিলেও উলের আঁশ সহজে সোজা হয় না। ফলে উলের জামার ভিতরে বেশ পুরু একটি নিশ্চল কু-পরিবাহী বায়ুর স্তর আটকাইয়া থাকে, উহার মধ্য দিয়া তাপ সঞ্চালন অতি ধীরে ধীরে হয়। সেইজন্য শীতকালে উলের জামা পরিলে শীত বোধ হয় না। তুলা ধুনিয়া লেপ তৈয়ারী করিলে তাহাও বেশ গরম হয়, কিন্তু তুলার আঁশ অত কড়া না হওয়ায় কিছুদিন বাদে আস্তে আস্তে আঁশ সোজা হইয়া যায়, ফলে ভিতরের বায়ু বাহির হইয়া যায়। তখন লেপ আর শীতকালে ব্যবহারের উপযোগী থাকে না।

8·5. **তরলের পরিবহণ ঃ** তরলেরও যে পরিবাহিতা আছে তাহা বোঝা যায় যদি পরিচলনের সম্ভাবনা বন্ধ করা যায়। পারদ ছাড়া সব তরলই কু-পরিবাহী। জলের পরিবহন একটি পরীক্ষা দ্বারা দেখান যায়।

একটি পুরু কাঁচের টেষ্ট টিউব জলে ভর্তি কর (চিত্র নং 32)। উহার নীচের দিকে একটি ছোট চাকৃতি লাগাইয়া তাহার নীচে কয়েক খণ্ড বরফ আটকাইয়া রাখ, যাহাতে উপরে ভাসিয়া উঠিতে না পারে। এইবার জলের উপরের স্তর একটি বার্ণারের সাহায্যে গরম করিতে থাক। দেখিবে, উপরের জল গরম হইয়া প্রায় ফুটিতে আরম্ভ করিলেও নীচের বরফ গলে নাই। এর দ্বারা ইহাই প্রমাণ করে যে, **জল তাপ কু-পরিবাহী**। জল গরম হইলে হালকা হয়, কিন্তু উপরের জল হালকা হইয়া কোথাও যাইতে পারে না। সুতরাং সেই তাপ নীচের ঠাণ্ডা স্তরে যাইতে হইলে পরিবহণ দ্বারাই যাইতে পারে, অন্য কোনও ভাবে পারে না। সুতরাং উপরের জল প্রায় স্ফুটনাঙ্কে উঠিলেও নীচের বরফ গলে না, ইহাতেই প্রমাণ হয় যে জল অত্যন্ত তাপের কু-পরিবাহী।

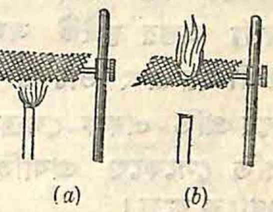


চিত্র নং 32

জলের কু-পরিবাহিতার জন্য গ্রীষ্মকালে পুকুর বা ঝিলের জলের উপরিস্তর রৌদ্রের উত্তাপে গরম হইলেও গভীরে অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা জল থাকে। মৎস্য বা অন্যান্য জলজ প্রাণী ঐ ঋতুতে জলের নিম্নভাগে থাকিয়া প্রাণরক্ষা করে। ঠিক একই কারণে মেরুপ্রদেশে যখন সাগরের উপরিভাগে হিমশীতল অবস্থা থাকে, তখন জলের নিম্নভাগে অপেক্ষাকৃত উষ্ণ জলে জলজ প্রাণীসকল থাকিয়া জীবনযাত্রা নির্বাহ করে। জল তাপ-সুপরিবাহী হইলে জলজ প্রাণীর বাঁচা সম্ভব হইত না।

8·6. ব্যবহারিক ক্ষেত্রে পরিবহণের প্রয়োগ : দৈনন্দিন জীবনে বিভিন্ন পদার্থের পরিবাহিতার বহু প্রয়োগ নজরে পড়ে। বায়ু কু-পরিবাহী। লেপ, উলের জামা প্রভৃতি তৈয়ারী এই তথ্য প্রয়োগের ফল। কাঠ কু-পরিবাহী। সেইজন্য কেটলি, রান্নার বাসন প্রভৃতিতে কাঠের হাতল দেওয়া হয়।

আবার ধাতুর সু-পরিবহণের জন্য তাহারও নানা প্রয়োগ আছে। বুন্‌সেন শিখার উপরে কাঁচের ফ্লাস্ক রাখিলে শিখার প্রবল তাপ ফ্লাস্কের যেখানে পড়ে, তাহা বেশী গরম হইয়া ফ্লাস্ক ফাটিবার আশংকা থাকে। সেইজন্য শিখার উপরে একটি তারের জালি রাখিয়া তাহার উপর কাঁচের ফ্লাস্ক বসান হয়। চিত্র নং 33 দেখিলেই ব্যাপারটা বুঝা যাইবে। চিত্র নং 33(*a*-তে শিখার তাপ তারের জালের সু-পরিবাহিতার জন্য দ্রুত চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে, উপরে কোন শিখা নাই। আবার চিত্র নং 33(*b*)-তে জালির উপরে অগ্নি সংযোগ করায় উপরে শিখা আছে।



চিত্র নং 33

কিন্তু উহার তাপ এত তাড়াতাড়ি পরিবাহিত হইয়া চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে যে, নীচের গ্যাস জ্বলিবার মত উত্তপ্ত হয় না। ধাতুর সু-পরিবহনের আর একটি প্রয়োগ **ডেভির নিরাপদ বাতি** (Davy's Safety Lamp)

ডেভির নিরাপদ বাতি (Davy's Safety Lamp) : ইহা কয়লা খনিতে আকস্মিক দুর্ঘটনা হইতে শ্রমিককে রক্ষা করে। চিত্র নং 33-এ বুন্‌সেন শিখার উপরে তারের জালি রাখিয়া যে পরীক্ষা হইয়াছিল, অর্থাৎ শিখার নীচের অংশ জ্বলে, কিন্তু উপরের অংশ জ্বলে না—এই পরীক্ষার উপরে ভিত্তি করিয়া ডেভির নিরাপদ বাতি তৈয়ারী হইয়াছে। একটি পুরু লোহা বা তামার জালি দিয়া বেলন তৈয়ারী করিয়া খাড়াভাবে একটি ফ্রেমের সহিত লাগাইয়া রাখা হয়। ইহার ভিতরে নীচের দিকে একটি সাধারণ কেরোসিন তেলের বাতি থাকে।

যদি কয়লা খনিতে কোথাও দাহ্য বা বিস্ফোরক গ্যাস থাকে, তাহা হইলে সেই স্থানে এই বাতি লওয়ামাত্র বিস্ফোরক গ্যাস জালির ভিতর দিয়া ভিতরে প্রবেশ করিবেই এবং ভিতরের শিখার সংস্পর্শে আসিয়া জ্বলিতে থাকিবে। ফলে শিখার রং বদলাইয়া ফিকা নীল রংয়ের শিখা দেখা যাইবে। জালির বাহিরেও ঐ দাহ্য গ্যাস প্রচুর আছে, উহার জ্বলনাঙ্ক (Ignition point) পর্যন্ত উষ্ণতা উঠিবার মত তাপ পাইলে উহাও জ্বলিয়া উঠিবে। কিন্তু ভিতরের শিখার তাপ বাহিরে আসিতে পারে না, চতুর্দিকস্থ তারের জালির সংস্পর্শে আসামাত্র উহার উত্তম তাপ পরিবহণ শক্তির জন্য চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে। সুতরাং আগুন বাহিরে ছড়াইতে পারে না। কিন্তু ঐ নূতন নীল রংয়ের শিখা দেখামাত্র বাহিরের লোক বুঝিতে পারে যে ঐ স্থানে বিস্ফোরক গ্যাস আছে এবং সকলে সাবধান হইতে পারে।

8·7. তাপ পরিবহন গুণাংক (Coefficient of Thermal Conductivity)ঃ কোনও পদার্থের তাপ পরিবহন করিবার ক্ষমতাকে বলে **তাপ পরিবহন গুণাংক**। ইহার সংজ্ঞা এইরূপ—**কোনও পদার্থের একটি সমপ্রস্থচ্ছেদের ঘনবস্তুর মধ্য দিয়া যদি স্থির অবস্থায় তাপ পরিবহন হয় এবং একক দৈর্ঘ্য অন্তর দুইটি সমান্তরাল প্রস্থচ্ছেদে উষ্ণতার প্রভেদ যদি এক ডিগ্রী হয় এবং তাপের সঞ্চালন যদি ঐ প্রস্থচ্ছেদদ্বয়ের লম্বদিকে হয়, তবে প্রতি একক ক্ষেত্রফল প্রস্থচ্ছেদের মধ্য দিয়া যে পরিমাণ তাপ প্রতি সেকেণ্ডে প্রবাহিত হয়, তাহাকে ঐ পদার্থের তাপ পরিবহণ গুণাংক বলে।**

ধর, কোন পদার্থের একটি রড্, দৈর্ঘ্য l সে. মি., প্রস্থচ্ছেদ A বর্গ সে. মি., লওয়া হইয়াছে এবং একদিক θ_1, অপরদিক θ_2 তাপমাত্রায় রাখা হইয়াছে। রডের বিভিন্ন অংশের তাপমাত্রা অল্প অল্প করিয়া বাড়িবে এবং কিছুক্ষণ পরে সব স্থানের তাপমাত্রা স্থির হইবে। প্রথম বিন্দুতে উহা θ_1, তাহার পরে কমিতে কমিতে θ_2-তে শেষ হইবে, কিন্তু যে বিন্দুতে যে তাপমাত্রা তাহাই স্থির থাকিবে। তাহা হইলে যদি t সেকেণ্ডে রডের মধ্য দিয়া Q ক্যালরি তাপ পরিবাহিত হয়, তবে—

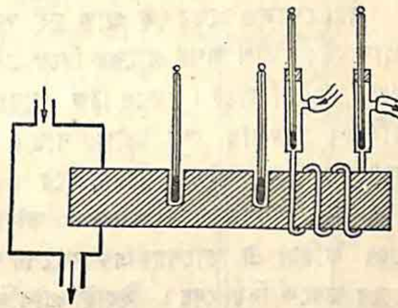
$$Q = K.\frac{A(\theta_1 - \theta_2)t}{l} \quad \cdots \quad \cdots \qquad (8{\cdot}7{\cdot}1)$$

K হইতেছে একটি ধ্রুবক। ইহাই পদার্থটির **তাপ পরিবহন গুণাংক**।

$$\therefore \quad K = \frac{Ql}{A(\theta_1 - \theta_2)t} \quad \cdots \quad \cdots \qquad (8{\cdot}7{\cdot}2)$$

সি.জি.এস পদ্ধতিতে পরিবহণ গুণাংকের একক হইবে ক্যালরি প্রতি সে. মি. প্রতি ডিগ্রী-সেন্টিগ্রেড প্রতি সেকেণ্ড।

পরিবাহিতা মাপন ঃ সাধারণ পরীক্ষাগারে কোন সু-পরিবাহী ধাতুর পরিবহণ গুণাংক **সার্লের পরীক্ষা** (Searle's Experiment) দ্বারা সহজে বাহির করা যায়। এই পরীক্ষার ব্যবস্থা চিত্র নং 34-এ দেখান হইয়াছে। ধাতু দণ্ডটির বাম প্রান্ত একটি বাষ্প কক্ষ (steam chest)-এর সহিত যুক্ত। ঐ প্রান্ত সব সময়েই প্রায় 100°C-এ থাকে। অপর প্রান্তে একটি সরু ফাঁপা তামার নল জড়ান ; ইহার মধ্য দিয়া সম চাপে জল প্রবাহ পাঠান হয়। এই নলের গোড়ায় ও শেষে দু'টি থার্মোমিটার বসান থাকে। উহাদের পাঠ, ধর, θ_3, θ_4। দণ্ডের গায়ে ফুটা করিয়া কিছু দূরত্বে (ধর, x সে. মি.) দুইটি থার্মোমিটার বসান থাকে। ধর, উহাদের পাঠ θ_1, θ_2।



চিত্র নং 34

যখন স্থির অবস্থা প্রতিষ্ঠিত হয় তখন বামদিক হইতে যে তাপ পরিবাহিত হইতেছে তাহা ডানদিকের প্রবহমান জলকে গরম করিবে। সুতরাং যদি প্রতি সেকেণ্ডে m গ্রাম জল নল দিয়া প্রবাহিত হয়, তবে উপরের সমীকরণ (8·7·2)-এর Q হইবে $m(\theta_4 - \theta_3)$ ক্যালরি প্রতি সেকেণ্ড।

তাপ পরিবহণ গুণাংকের তালিকা

পদার্থ	পরিবাহিতা (সি. জি. এস)	পদার্থ	পরিবাহিতা (সি. জি. এস)
Aluminium	0·49	Fireclay	4×10^{-3}
Copper	0·92	Asbestos	6×10^{-4}
Gold	0·70	Ebonite	4×10^{-4}
Iron	0·14	Felt	9×10^{-5}
Mercury	0·2	Flannel	$2{\cdot}3\times10^{-5}$
Silver	0·97	Porcelain	$2{\cdot}5\times10^{-4}$
Brass	0·29	Rubber	$4{\cdot}5\times10^{-4}$
Glass	2×10^{-3}		

8·8. তাপ পরিবহণে স্থির ও স্থিরপূর্ব অবস্থা ঃ উপরের প্রতি ক্ষেত্রে দেখা গিয়াছে যে তাপ পরিবহণের প্রতি সমস্যার সুষ্ঠু সমাধানে স্থির অবস্থার উপর নির্ভর করা হইয়াছে। যেমন, ইনজেন্-হাউজ্ পরীক্ষায় প্রথম অবস্থায় কোন্ রডে কতখানি দৈর্ঘ্যের মোম গলিল তাহা উহার পরিবহণ ক্ষমতার পরিচায়ক নহে। কিন্তু শেষ স্থির অবস্থায় যখন আর নূতন মোম গলিতেছে না, তখনকার গলিত মোমের

দৈর্ঘ্য উহার পরিবহণ ক্ষমতার পরিচায়ক। এ সম্বন্ধে মূলসূত্র হইতে চিন্তা করিলে দুই অবস্থার পার্থক্য বুঝা যায়।

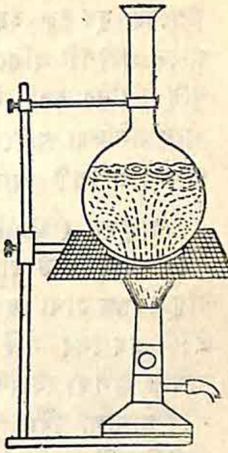
ধর, কোনও রডের দুই প্রান্ত দুই অসমান স্থির উষ্ণতায় আছে। উচ্চ উষ্ণতা প্রান্ত হইতে তাপ অপর প্রান্তের দিকে চলিবে। চলিবার কারণ ঐ দিকে কম উষ্ণতার পদার্থ কণা রহিয়াছে। ফলে ঠিক পরের স্তর পূর্বের স্তর হইতে ঐ পদার্থের তাপ পরিবহণ ক্ষমতার জন্য তাপ পায়। প্রাপ্ত তাপের জন্য ঐ স্তরের উষ্ণতা বাড়ে। ফলে তাপ ঐ স্তর হইতে পরের স্তরে (কম উষ্ণতায় থাকার জন্য) যায়। এইভাবে তাপ ঐ দিকে চলিতে থাকে। তাহার ফলে প্রতি স্তর আগের স্তর হইতে তাপ গ্রহণ করিয়া ঐ তাপের এক অংশের দ্বারা নিজের উষ্ণতা বাড়ায় এবং বাকী অংশ পরের স্তরকে দিয়া দেয়। ইহাই প্রাথমিক অবস্থা বা স্থিরপূর্ব অবস্থা (variable state)। কিন্তু শেষস্তরের উষ্ণতা যদি বাড়িতে না পারে, তবে শীঘ্রই এমন অবস্থার সৃষ্টি হয় যখন প্রথম ও শেষ স্তরের সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন উষ্ণতা বজায় থাকে এবং প্রথম হইতে শেষ স্তর পর্যন্ত উষ্ণতা সর্বোচ্চ হইতে ধীরে ধীরে নামিয়া সর্বনিম্ন উষ্ণতায় আসে। কিন্তু প্রত্যেক স্তরেরই উষ্ণতা যাহা হইয়াছে তাহা স্থির থাকে। প্রতি স্তর আগের স্তর হইতে পরিবাহিত তাপ গ্রহণ করে (কারণ, তাহাদের মধ্যে তাপমাত্রার তারতম্য আছে) এবং সমস্ত তাপই পরের স্তরকে (সামান্য কম তাপমাত্রায়) দিয়া দেয়। ইহাই শেষ অবস্থা বা স্থির অবস্থা।

প্রথম অবস্থায় কোন স্তর যত তাপ গ্রহণ করে, তাহার একাংশ সেই স্তরের পদার্থ কণাগুলির উষ্ণতা বৃদ্ধিতে লাগে। সুতরাং তাপ সঞ্চালন কেবল পরিবহণ গুণাংকের উপর নির্ভর করিবে না, ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ ও ঘনত্বের গুণফলের উপর বিপরীতভাবে নির্ভর করিবে। কিন্তু স্থির অবস্থায় কোনও স্তরের আর উষ্ণতা বৃদ্ধি হইবে না। তাপ সঞ্চালন একমাত্র পরিবহণ গুণাংকের উপর নির্ভর করিবে। সেইজন্য ইনজেন-হাউজ্ পরীক্ষায় যে রডের মোম প্রথমে তাড়াতাড়ি গলিতে লাগিল, হয়ত দেখা যাইবে স্থির অবস্থায়, যখন নূতন কোনও মোম গলিতেছে না, তখন গলিত মোমের দৈর্ঘ্য খুব বেশী নয়, কমই। তাহার কারণ ঐ পদার্থের পরিবহণ গুণাংক কম, কিন্তু আপেক্ষিক তাপ ও ঘনত্বের গুণফল এত কম যে, সামান্য যে তাপ কোনও স্তর পায় তাহার অতি সামান্য ভগ্নাংশেই উহার উষ্ণতা যথেষ্ট বাড়ে এবং বাকী প্রায় সমস্ত তাপই পরের স্তরে যাইতে পারে। কিন্তু যখন উষ্ণতা আর বাড়ে না, তখন সমস্ত তাপই পরের স্তরকে দিয়া দেয়। এই তাপের পরিমাণ একই ; সুতরাং শেষ অবস্থায় গলিত মোমের দৈর্ঘ্য কমই থাকিয়া যায়।

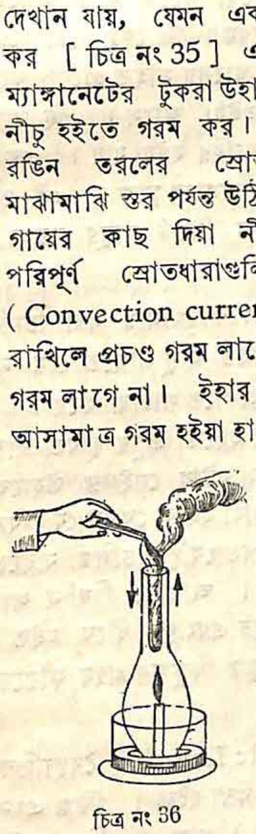
8·9. **পরিচলন** : § 8·1 অনুচ্ছেদে পরিচলনের সম্বন্ধে আলোচনা করা হইয়াছে। তাপের পরিচলন তরল ও গ্যাসীয় পদার্থেই হয়।

যে পদ্ধতিতে কোনও স্থানের উষ্ণ বস্তু নিম্নোষ্ণ স্থানে চলিয়া যাইতে বাধ্য হয় এবং ফলে তাপ প্রথম স্থান হইতে দ্বিতীয় স্থানে সঞ্চালিত হয়, তাহাকে বলে **তাপ**

পরিচলন (Convection of heat)। স্পষ্টই বুঝা যায় যে, কোনও কঠিন বস্তুর মধ্যে তাপ পরিচলন সম্ভব নয়, কারণ কঠিন বস্তুর নিজস্ব আকৃতি থাকায় কোনও অংশ গরম হওয়ার স্থান ত্যাগ করিয়া শীতল অংশের দিকে যাইতে পারে না। এই পদ্ধতি কেবল তরল ও গ্যাসীয় পদার্থেই ঘটে। কিন্তু পরিবহণ কেবল কঠিন বস্তুতেই সীমাবদ্ধ নয়, তরল ও গ্যাসীয় পদার্থেও ঘটে। পরিচলন অতি সহজ উপায়ে দেখান যায়, যেমন একটি ফ্লাস্ক আংশিক জলে ভর্তি কর [চিত্র নং 35] এবং কয়েকটি পটাসিয়াম পার-ম্যাঙ্গানেটের টুকরা উহার মধ্যে ছাড়িয়া দাও। এইবার নীচু হইতে গরম কর। দেখিবে নীচু হইতে কয়েকটি রঙিন তরলের স্রোত উপরে উঠিতেছে। ফ্লাস্কের মাঝামাঝি স্তর পর্যন্ত উঠিয়া ঐ স্রোতগুলি বাঁকিয়া ফ্লাস্কের গায়ের কাছ দিয়া নীচের দিকে নামিয়াছে। এই পরিপূর্ণ স্রোতধারাগুলিকে বলে **পরিচলন ধারা** (Convection current)। আবার একটি প্রদীপের ঠিক 5 ফুট উপরে হাত রাখিলে প্রচণ্ড গরম লাগে, কিন্তু প্রদীপের পাশে 1 ফুট দূরে হাত রাখিলেও বিশেষ গরম লাগে না। ইহার কারণও পরিচলন। প্রথম ক্ষেত্রে প্রদীপের সংস্পর্শে বায়ু আসামাত্র গরম হইয়া হালকা হয় এবং সোজা উপরে চলিয়া যায়। ফলে প্রদীপ হইতে তাপ হাতে আসিয়া পৌঁছায় পরিচলন-পদ্ধতিতে।



চিত্র নং 35



চিত্র নং 36

প্রদীপটি যদি একটি চিমনির মধ্যে আবদ্ধ রাখা হয় এবং চিমনীর উপরের মুখে T-আকৃতির একটি শক্ত কাগজ রাখা হয় [চিত্র নং 36], তবে দেখা যাইবে উপরের মুখটি দুই ভাগে ভাগ হইয়া গিয়াছে। এক অংশের উপর জ্বলন্ত ধূপকাঠি ধরিলে ঐ অংশ দিয়া ধোঁয়ার স্রোত চিমনির ভিতরে ঢুকিতেছে। আর এক অংশ দিয়া গরম হাওয়া ও ধোঁয়া বাহির হইতেছে। ইহাতে গ্যাসের মধ্যে তাপের যে পরিচলন তাহা সুন্দর-ভাবে দেখা যাইতেছে।

8·10. পরিচলন স্রোত (Convection Current) : পরিচলন-পদ্ধতির উদ্ভবের কারণ উপরে আলোচনা করা হইয়াছে। গরম হওয়ার জন্য তরল বা গ্যাসের ঘনত্ব কমিয়া যায় ; উহা হালকা হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে উপরে উঠিতে থাকে। আবার উহার স্থান পূরণ করিবার জন্য ঠাণ্ডা ও ভারী তরল (বা গ্যাস) সঙ্গে সঙ্গে তাপের উৎস অভিমুখে চলিতে থাকে। সুতরাং প্রত্যেক পরিচলন দুইটি বিপরীতমুখী স্রোতধারা লইয়া গঠিত। তাপের উৎস যদি একটি আগুনের শিখা হয় এবং একটি স্রোতধারা বন্ধ

করিয়া দেওয়া হয় তবে শিখাটিও নিভিয়া যাইবে। যদি চিত্র নং 36 -এর চিমনির উপরের মুখ সরু হয় এবং T-আকৃতির কোন কার্ডবোর্ড না বসান হয়, এবং যে পাত্রে প্রদীপটি জ্বলিতেছে তাহার মধ্যে যদি কিছু জল দেওয়া হয় যাহাতে বাহিরের ঠাণ্ডা বায়ু চিমনির তলা দিয়া পাত্রে ঢুকিতে না পারে, তবে দেখা যাইবে, প্রদীপটি ধীরে ধীরে নিভিয়া যাইতেছে। কারণ, ঠাণ্ডা বায়ুর স্রোত চলিবার কোন রাস্তা না থাকায় প্রদীপটি অক্সিজেনের অভাবে নিভিয়া যাইবে।

বায়ুরন্ধ্র (Ventilator) : লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, ঘরের মধ্যে উপরের দিকে ছোট ছোট জালি লাগান থাকে। উহাদের বলে বায়ুরন্ধ্র। উহাদের দ্বারা ঘরের বায়ু বিশুদ্ধ রাখা হয়। মানুষের দেহে ঠাণ্ডা বিশুদ্ধ বায়ু নিঃশ্বাসের সহিত প্রবেশ করে এবং প্রশ্বাসের সহিত দূষিত ও উত্তপ্ত অবস্থায় বাহির হইয়া আসে। এই বায়ু সামান্য হালকা হইয়া উপরে উঠিয়া যায় এবং বায়ুরন্ধ্র দিয়া বাহির হইয়া যায়। একই সঙ্গে জানালা দিয়া বিশুদ্ধ ঠাণ্ডা বায়ু ঘরের মধ্যে অবিশ্রান্তভাবে ঢুকে। এই দুই বিপরীতমুখী স্রোত (পরিচলন-পদ্ধতি দ্বারা সৃষ্ট) ঘরের মধ্যে বিশুদ্ধ বায়ুর সরবরাহ নিশ্চিত রাখে, দূষিত বায়ু জমিতে দেয় না।

চিমনি : তোমরা বাড়ীতে প্রদীপের চিমনি এবং কারখানায় লম্বা চিমনি দেখিয়াছ। উভয়ই পরিচলন-পদ্ধতি অনুযায়ী কার্য করে, দূষিত বায়ু জমিতে দেয় না এবং বাড়ীর প্রদীপ ও কারখানার চুল্লী ভালভাবে নির্বিঘ্নে জ্বলিতে সাহায্য করে।

কারখানার চিমনিগুলি লম্বা করিতে হয়, কারণ চুল্লী হইতে প্রচুর দূষিত বায়ু নির্গত হয় এবং যাহাতে উহা আশপাশের জনস্বাস্থ্যের বিঘ্ন না ঘটায় সেইজন্য উহাকে বহু উপরে তুলিয়া দেওয়া হয়। যদি চিমনি না থাকিত তাহা হইলে কেবল যে দূষিত বায়ু জনস্বাস্থ্যের হানি ঘটাইত তাহা নহে, দূষিত বায়ু যথাযথভাবে দূরে চলিয়া যাইতে পারিত না এবং কারখানার চুল্লী ভালভাবে চলিত না। আবার, চিমনি লম্বা হওয়াতে উহার মধ্য দিয়া দূষিত বায়ুর চলাচলে বাধা আসিত এবং খুব ধীরে হইত। এই চলাচল দ্রুত করিতে হইলে চিমনিকে প্রারম্ভিক অবস্থায় কিছুক্ষণ গরম করিতে হয়। তাহা হইলেই চলাচল ঠিকমত হইতে পারে।

গ্যাস-ভর্তি বৈদ্যুতিক বাতি (Gas-filled Electric Lamps) : বৈদ্যুতিক বাতি যখন প্রথম আবিষ্কার হয়, তখন বাল্‌ব্ গ্যাস শূন্য করা হইত। কিন্তু এখন বাল্‌ব নিষ্ক্রিয় গ্যাস (inert gas), যেমন আর্গন (argon) দ্বারা আংশিক ভর্তি করা হয়। তাহাতে বাতি অপেক্ষাকৃত বেশীদিন টিকে এবং আলোও বেশী উজ্জ্বল হয়। এই গ্যাসের জন্য বাল্‌বের মধ্যে তাপ পরিচলন হয়। এই পরিচলনের ভাল ও মন্দ দুই দিকই আছে। পরিচলনের সুফল এই যে, উত্তাপের ফলে তারের যে সূক্ষ্ম কণাগুলি বিচ্ছুরিত হয় সেগুলি চারিদিকে ছুটিয়া সমগ্র বাল্‌বের পৃষ্ঠ অনুজ্জ্বল না করিয়া পরিচলনের জন্য উপরে উঠিয়া বাল্‌বের উপরের দিকে সামান্য একটি অংশই কেবল অনুজ্জ্বল করে। আর গ্যাস থাকিবার জন্য বিচ্ছুরণও কম হয়, ফলে বাল্‌ব্

বহুদিন স্থায়ী হয়। পরিচলনের মন্দ ফল এই যে, কিছু তাপ পরিচলন দ্বারা বাল্বের পৃষ্ঠে পৌঁছায় এবং সেখানে পরিবহণও হয়। ফলে ভিতরের তারের তাপমাত্রা যতটা বৃদ্ধি পাওয়া উচিত তাহা অপেক্ষা কম বৃদ্ধি পায়। সেইজন্য পরিচলন কম রাখার জন্য ভিতরের তারটিকে কুণ্ডলী পাকাইয়া অল্প জায়গার মধ্যে রাখা হয়, যাহাতে ভিতরের তারের পৃষ্ঠের অতি সামান্য অংশই উপরের দিকে থাকে। এই অংশ হইতেই পরিচলন সম্ভব। সুতরাং পরিচলনের জন্য তাপক্ষয় যথাসম্ভব কম হয়।

8·11. পরিচলনের উপর নির্ভরশীল কয়েকটি প্রাকৃতিক ঘটনা : পরিচলনের ফলে দুই বিপরীতমুখী স্রোতের সৃষ্টি হয় ফলে বহু গুরুত্বপূর্ণ নৈসর্গিক ঘটনার উদ্ভব হয় ; যেমন—

বায়ুস্রোত (Winds) : কলিকাতা ও পশ্চিম বাংলার দক্ষিণাঞ্চলে অন্যান্য জায়গায় গ্রীষ্মকাল হইতে বর্ষার শেষ পর্যন্ত দক্ষিণের বাতাস বয় এবং শীতকালে বয় উত্তরের বাতাস। উভয়ের কারণ পরিচলন। সূর্য যখন উত্তরমুখী তখন সমুদ্রের প্রচুর বাষ্পায়নের জন্য জলে বাষ্প বেশী হয়। এই বাষ্প শুষ্ক বায়ু অপেক্ষা হালকা এবং উপরে সহজেই উঠিয়া যায়। ফলে ঐ অঞ্চলে উচ্চ চাপের সৃষ্টি হয় এবং আর্দ্র বায়ু উত্তর দিকে স্রোতাকারে চলিতে থাকে। ইহাই দক্ষিণের বাতাস। শীতকালে সূর্য অনেক দক্ষিণে চলিয়া যাওয়ায় বাষ্পায়ন কম হয় এবং পৃথিবীর উত্তরাঞ্চলে উচ্চচাপের সৃষ্টি হয়। তখন পাওয়া যায় ঠাণ্ডা উত্তরের বাতাস। একই কারণে গ্রীষ্মকালের শেষে মৌসুমী বায়ুর উৎপত্তি।

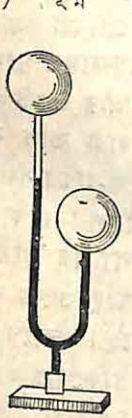
সমুদ্রের ভিতরে ভিন্ন ভিন্ন অঞ্চলে ভিন্ন ভিন্ন তাপমাত্রার জন্য পরিচলনের সৃষ্টি হয়। এই ভিতরের পরিচলন ও সমুদ্রপৃষ্ঠের উপরে বিভিন্ন বায়ু চলাচল—উভয়ে মিলিয়া সমুদ্রের নানা জায়গায় নানা স্রোতের সৃষ্টি হয়। এই স্রোত সমুদ্রপৃষ্ঠের উপরে এক-দিকমুখী, ভিতরে বিপরীতমুখী। ইংলণ্ডের পশ্চিমাংশে প্রবাহিত হয় **গাল্‌ফ্ স্রোত** (Gulf Stream)। এ সম্বন্ধে ভূ-পরিচয়ে (Geography) তোমরা আলোচনা পাইয়াছ। এই স্রোতের জন্যই ইংলণ্ড খুব শীতের দেশ নয় ; অপেক্ষাকৃত গরম।

8·13. বিকিরণ (Radiation) : ইহা তাপ সঞ্চালনের আর একটি পদ্ধতি। §8·1 অনুচ্ছেদে এ সম্বন্ধে আলোচনা করা হইয়াছে। বিকিরণ দ্বারা তাপ সঞ্চালন পরিবহণ ও পরিচলনের তুলনায় অত্যন্ত দ্রুত। এই দ্রুতি আলোক-রশ্মির সঞ্চালনের দ্রুতির সমান। অর্থাৎ প্রায় 1,86,000 মাইল প্রতি সেকেণ্ড। পরীক্ষা-নিরীক্ষা হইতে বিজ্ঞানীরা এই সিদ্ধান্তে আসেন যে, সমস্ত ব্রহ্মাণ্ড একটি **অপার্থিব** স্থিতিস্থাপক মাধ্যম দ্বারা পরিপূর্ণ। ইহার নাম **ঈথার** (Ether)। পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের বাহিরে যে মহাশূন্য, তাহাতে কোন পার্থিব পদার্থ নাই, কিন্তু ঈথার আছে। তাপের উৎস, যেমন সূর্য বলিতে আমরা বুঝি শক্তির উৎস। কোন প্রকার চাঞ্চল্যের ফলে এই উৎস হইতে শক্তি অনুপ্রস্থ (Transverse) তরঙ্গের মাধ্যমে চতুর্দিকে 1,86,000 মাইল প্রতি সেকেণ্ড বেগে সরলরেখা ধরিয়া ভ্রমণ করে। এই তরঙ্গমালার মধ্যে সব রকম তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের (Wave-length) তরঙ্গ আছে। তরঙ্গ সম্বন্ধে দ্বিতীয় পরিচ্ছেদে

কম্পন ও তরঙ্গ বিদ্যায় বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে। এই তরঙ্গমালার সমস্ত তরঙ্গের মাধ্যমেই শক্তির সঞ্চালন ঘটে। যে সকল তরঙ্গের দৈর্ঘ্য 4×10^{-5} হইতে 8×10^{-5} সে. মি.-এর মধ্যে তাহারা মনুষ্য চক্ষুর উপর ক্রিয়াশীল এবং তাহাদের বলা হয় **আলোক**। 4×10^{-5} সে. মি.-এর কম দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ চক্ষুর উপর ক্রিয়াশীল নয়। চোখে দেখিয়া ইহাদের প্রত্যক্ষ করা যায় না। ইহাদের বলে **অতিবেগুনী আলোক** (Ultra-violet light)। ইহাদের ফটোফিল্মের সাহায্যে প্রত্যক্ষ করা যায়। আবার 8×10^{-5} সে. মি.-এর বেশী দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ চোখে দেখা যায় না। কিন্তু ত্বকের উপর পড়িলে ক্রিয়া করে এবং তাপ অনুভূত হয়। ইহাকে সেইজন্য বলা হয় **তাপ-রশ্মি** (Heat Rays)। এই রশ্মি কোন বস্তুর উপর পড়িয়া যদি **শোষিত** (absorbed) হয় তবেই তাপ উৎপন্ন করে। যদি কোন বস্তু দ্বারা আলোক-রশ্মি শোষিত হয় তবেও তাপ উৎপন্ন হয়। চারিদিক খোলা কিন্তু ছায়াবৃত স্থানে একটি থার্মোমিটারের পাঠ লইলে বায়ুর তাপমাত্রা জানা যায়। কিন্তু ছায়ার বাহিরে সূর্যের আলোক পড়ে এমন জায়গায় তাপমাত্রা কত হইবে, ইহা অর্থহীন। কারণ সূর্য রশ্মির কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রা নাই। উহা শক্তি বহন করিয়া আনে মাত্র। এই শক্তি যদি কোন বস্তু পুরাপুরি শোষণ করে তবে তাহার একরকম তাপমাত্রা হইবে। আর এক বস্তু যদি আংশিক শোষণ করে ও আংশিক প্রতিফলন করে, তবে তাহা আর একরকম তাপমাত্রার নির্দেশ করিবে। সূর্যালোকে যদি পাশাপাশি দুইটি থার্মোমিটার রাখা হয়, একটি বাল্ব স্বাভাবিক, আর একটির বাল্ব ভূষাকালি (soot) মাখান, তবে প্রথমটি হইতে দ্বিতীয়টি অধিক তাপমাত্রা নির্দেশ করিবে।

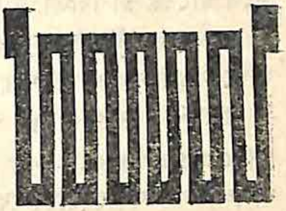
8.14. **তাপ-রশ্মির অস্তিত্ব আবিষ্কার (Detection of Thermal Radiation):** তাপ-রশ্মি, শোষণ করিতে পারে এরূপ কোন বস্তুর উপর ফেলিলে ঐ বস্তুর তাপমাত্রা বাড়িবে। এই বৃদ্ধি হইতে তাপ-রশ্মির অস্তিত্ব জানা যায়।

(i) সূক্ষ্ম পরিমাপের জন্য যে যন্ত্রটি ব্যবহার করা হয় তাহাকে বলে **থার্মোস্কোপ** (Thermoscope)। চিত্র নং 37-এ উহা দেখান হইয়াছে। ইহা একটি বাঁকান কাঁচ নল ; দুই মুখে দুইটি ফাঁপা কাঁচের বাল্ব। ইহা হইতে বায়ু বাহির করিয়া আংশিক রাসায়নিক ইথাইল ঈথার (Ether) দিয়া ভর্তি করা হয়। ফলে ইহা আংশিক তরল ঈথারে ও বাকী অংশ ঈথার বাষ্পে ভর্তি থাকে। একটি বাল্ব কাল রঙ্ দ্বারা রঙ্ করা থাকে। এই যন্ত্রের উপর তাপ-রশ্মি পড়িলে এক বাল্বে উহা প্রায় সম্পূর্ণ শোষিত হয়, আর অপর বাল্বে বিশেষ শোষিত হয় না। একটি বাল্ব গরম হওয়ার ফলে ঈথার বাষ্পের চাপ বাড়ে এবং ঈথার দুইটি নলে এক লেভেলে থাকে না। অপর বাল্বের লেভেল উঠিয়া যায় এবং ইহা হইতে তাপ-রশ্মির অস্তিত্ব প্রত্যক্ষ করা যায়।



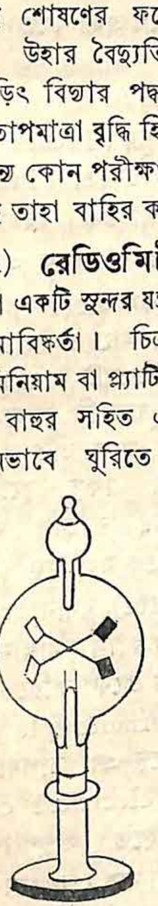
চিত্র নং 37

(ii) আরও সূক্ষ্ম পরিমাপের জন্য সাধারণতঃ ব্যবহার হয় **বোলোমিটার** (Bolometer)। উহা চিত্র নং 38-এ দেখান হইয়াছে। ইহা বিদ্যুৎচালিত এবং সূক্ষ্ম পরিমাপের জন্য বিশেষ উপযোগী। ইহা একটি আঁকাবাঁকা লম্বা প্ল্যাটিনামের পাত (চিত্র নং 38)। ইহা একটি ফাঁপা প্লেটের ফ্রেমের উপর বসান। পাতগুলির উপর একটি গাঢ় কাল প্ল্যাটিনামের আবরণ দেওয়া হয়, যাহাতে উহার উপর আপতিত তাপ-রশ্মি পুরাপুরি শোষিত হইতে পারে।


চিত্র নং 38

এই শোষণের ফলে পাতগুলির তাপমাত্রা বাড়ে। উহার বৈদ্যুতিক রোধও (Electrical resistance) বাড়ে। এই রোধ-বৃদ্ধি তড়িৎ বিস্তার পদ্ধতি অনুযায়ী হিসাব করিয়া বাহির করা হয়। এই রোধবৃদ্ধি হইতে তাপমাত্রা বৃদ্ধি হিসাব করা হয়। আর উহার তাপগ্রাহিতা জানা থাকিলে (বা অন্য কোন পরীক্ষা দ্বারা বাহির করিলে) কতটা তাপ শক্তি উহা দ্বারা শোষিত হইয়াছে তাহা বাহির করা যায়।

(iii) **রেডিওমিটার** (**Radiometer**) ঃ তাপ-রশ্মির অস্তিত্ব পরীক্ষা করার জন্য ইহা একটি সুন্দর যন্ত্র। **স্যার উইলিয়াম ক্রুক্‌স্** (Sir William Crookes) ইহার আবিষ্কর্তা। চিত্র নং 39-এ ইহা দেখান হইয়াছে। চারিটি হালকা, পাতলা অ্যালুমিনিয়াম বা প্ল্যাটিনামের পাত (vane) একটি অতি হালকা ফ্রেমের সহিত দুইটি হালকা বাহুর সহিত এমনভাবে যুক্ত যে সামান্য বল প্রয়োগ হইলেই পাতগুলি ঘর্ষণহীনভাবে ঘুরিতে পারে। প্রতি পাতের একদিক ভুষা কালি মাখান অপরদিক চক্‌চকে পালিশ করা। আর, প্রতি পাতের কাল দিকের সামনে পরবর্তী পাতের পালিশ করা দিক বসান থাকে। ফলে যদি প্রতি পাতের কাল দিকের উপর ধাক্কা দেওয়া যায় তবে চারিটি পাতই ঘুরিতে থাকিবে। প্রত্যেক বল অক্ষের চারিদিকে **একই দিকে** ঘুরিবার ভ্রামক সৃষ্টি করিবে।


চিত্র নং 39

যন্ত্রটি হইতে কিছু দূরে একটি দিয়াশলাই জ্বালিলেই দেখা যাইবে যন্ত্রটি ঘুরিতেছে, কারণ উহার তাপ-রশ্মি সব সময়ই বাহুর সহিত যুক্ত দুইটি কাল পৃষ্ঠে ও অপর দুইটি পাতের চক্‌চকে পৃষ্ঠে পড়িবে (চিত্র নং 39 ভাল করিয়া লক্ষ্য কর)। কাল পৃষ্ঠে শোষিত হইয়া পাতের উষ্ণতা বৃদ্ধি করিবে ; ফলে পার্শ্ববতী বায়ুকণা গরম হইয়া সবেগে কাল পৃষ্ঠ হইতে বাহির হইয়া আসিবে এবং নিউটনের তৃতীয় গতিসূত্র অনুসারে এই ভরবেগ বিপরীত দিকে ঐ দুই কাল পৃষ্ঠের উপর

বল প্রয়োগের কারণ হইবে। আবার, তাপ-রশ্মি একইভাবে দুইটি চক্‌চকে পৃষ্ঠের উপরও পড়িতেছে। কিন্তু তাহারা শোষিত না হইয়া প্রতিফলিত হইতেছে। ফলে পাতের তাপমাত্রা বাড়িতেছে না এবং কোন বলেরও সৃষ্টি হইতেছে না।

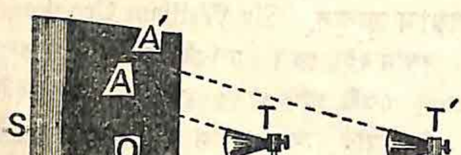
সুতরাং দুই বাহুতেই একই দিকে একই সঙ্গে ভ্রামকের সৃষ্টি হইবে এবং যন্ত্রটি ঘুরিতে থাকিবে। তাপ-রশ্মির অস্তিত্ব দেখাইবার ইহা একটি সুন্দর যন্ত্র।

8·15. তাপ-রশ্মি ও আলোক-রশ্মির তুলনামূলক আলোচনা (Comparison of Thermal Radiation and Light)ঃ উপরে আলোচনা করা হইয়াছে যে তাপ-রশ্মি ও আলোক-রশ্মির মধ্যে গুণগত পার্থক্য কিছু নাই। উভয়েই অনুপ্রস্থ তরঙ্গ। সেইজন্য উভয়ের ব্যবহার অনেক ক্ষেত্রে একই রকম।

(i) মহাশূন্যের মধ্য দিয়া উভয়েই একইভাবে একই বেগে ভ্রমণ করে। উভয়ের গতিই সরলরেখা অনুসারী।

(ii) উৎস হইতে উভয়েই সর্বদিকে সমভাবে সঞ্চালিত হয়।

(iii) আলোক-রশ্মির মত তাপ-রশ্মিও **বিপরীত বর্গসূত্র** (Inverse Square Law) মান্য করিয়া চলে। কোন বিন্দুতে তাপ-রশ্মির তীব্রতা (intensity) তাপের উৎস হইতে ঐ বিন্দুর দূরত্বের বর্গের সহিত ব্যস্তানুপাতিক। ইহার সত্যতা চিত্র নং 40-এ প্রদর্শিত যন্ত্রের সাহায্যে দেখান যায়। চিত্রের বামদিকে একটি বৃহৎ আয়তাকার কম প্রস্থের পাত্র অভিলম্বভাবে রাখা আছে; ইহার দুই দিক্ সমতল এবং ভিতরটি ফাঁপা। সামনের দিক্ সম্পূর্ণ ভুষাকালি মাখান। এই পাত্রটি ফুটন্ত জলে ভর্তি করা হয়। ইহার সামনে কিছু দূরে, একটি স্ট্যাণ্ডের উপর ফানেল আকারের একটি বৈদ্যুতিক সংগ্রাহক (electrical collector) বসান হয়, যাহাতে সামনের ভুষাকালি মাখান সমতল ক্ষেত্রের AB বৃত্ত হইতে নির্গত সমস্ত রশ্মি সংগ্রাহকের মধ্যে প্রবেশ করিতে পারে। এই ফানেলের শীর্ষ বিন্দুতে একটি তাপীয় কাপ্‌ল্ (thermocouple) বসান থাকে। সংগৃহীত তাপের অনুপাতে উহার তাপমাত্রা বাড়ে এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধির অনুপাতে তাপীয় কাপ্‌লের সহিত যুক্ত তড়িৎ বর্তনীতে (electrical circuit) তড়িৎ প্রবাহ বাড়ে। সুতরাং তড়িৎ প্রবাহের বৃদ্ধি হইতে আনুপাতিকভাবে সংগৃহীত তাপের পরিমাণ তুলনামূলকভাবে হিসাব করা যায়। প্রথমে অভিলম্ব সমতল হইতে কিছু দূরত্বে সংগ্রাহকটি রাখিয়া তড়িৎ প্রবাহের বৃদ্ধি মাপা হয়। তাহার পর সংগ্রাহকটি দ্বিগুণ দূরত্বে রাখিয়া আবার তড়িৎ প্রবাহের বৃদ্ধি মাপা হয়। দেখা যায়, তড়িৎ প্রবাহের বৃদ্ধি একই থাকে।



চিত্র নং 40

এখন, একই সংগ্রাহকটি প্রথম স্থান হইতে দ্বিতীয় স্থানে আনিলে, উহাতে A′B′ বৃত্তের ক্ষেত্র হইতে নির্গত সমস্ত তাপ-রশ্মি সংগৃহীত হয়। জ্যামিতি অনুসারে A′B′ বৃত্তের ব্যাসার্ধ AB বৃত্তের ব্যাসার্ধের দ্বিগুণ। সুতরাং A′B′ বৃত্তের ক্ষেত্রফল AB বৃত্তের ক্ষেত্রফলের চারগুণ। যেহেতু দুই অবস্থানেই তড়িৎ প্রবাহ একই থাকে। সুতরাং AB হইতে T-তে সংগৃহীত শক্তির পরিমাণ আর A′B′ হইতে T′-এ সংগৃহীত শক্তির পরিমাণ একই। অর্থাৎ সংগ্রাহকের উপর S হইতে নির্গত তাপ-রশ্মির তীব্রতা T-তে যাহা, T′-এ তাহার এক-চতুর্থাংশ। সুতরাং তাপ-রশ্মির তীব্রতা উৎস হইতে সংগ্রাহকের দূরত্বের বর্গের সহিত ব্যস্তানুপাতিক।

(iv) **প্রতিফলন (Reflection) :** উভয় রশ্মি একই সূত্র অনুযায়ী মসৃণ পৃষ্ঠ হইতে (সমতল অথবা বক্র) প্রতিফলিত হয়।

(v) **প্রতিসরণ (Refraction) :** উভয় রশ্মি একই সূত্র (**স্নেলের সূত্র**) অনুযায়ী এক স্বচ্ছ মাধ্যম হইতে আর এক স্বচ্ছ মাধ্যমে প্রতিসরিত হয়।

(vi) **সমবর্তন (Polarisation) :** আলোক-রশ্মির ন্যায় তাপ-রশ্মিরও সমবর্তন হয়।

(vii) **গরম করিয়া আলোকের উৎপাদন (Production of Light by Heating) :** একটি প্ল্যাটিনাম তারের মধ্য দিয়া প্রথমে অল্প তড়িৎ প্রবাহ চালনা কর। তার সামান্য গরম হইবে। ক্রমশঃ তড়িৎ প্রবাহ বাড়াইতে থাকিলে তারের তাপমাত্রাও বাড়িবে। অবশেষে তাপমাত্রা 1600°C হইলে দেখা যাইবে তার হইতে আলোক বাহির হইতেছে, আর তাপও বেশী বাহির হইতেছে। ইহাতেই প্রমাণ হয়, তাপ-রশ্মি ও আলোক-রশ্মি একই ধরনের তরঙ্গ ; প্রভেদ কেবল তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের। আলোকের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কম, তাপ-রশ্মির বেশী। বিপরীতার্থে, **বড় দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ তাপ অনুভূতি সৃষ্টি করে। আর কম দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ দৃষ্টির অনুভূতি সৃষ্টি করে।**

অবশ্য খুব বড় দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ তাপ অনুভূতিও সৃষ্টি করে না, যেমন রেডিও তরঙ্গ। আবার খুব ছোট দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ দৃষ্টির অনুভূতি সৃষ্টি করে না, যেমন X-রশ্মি, গামা-রশ্মি (γ-রশ্মি) প্রভৃতি।

8·16. তাপ-রশ্মির নির্গমন ও শোষণ (Emission and Absorption of Heat Radiation) : কোন লোহার টুকরা বা প্ল্যাটিনাম তার বা চুল্লী যথেষ্ট গরম হইলে তাপ রশ্মি নির্গমন করে, কাছে দাঁড়াইলে তাহা অনুভব করা যায়। কিন্তু এই তাপ নির্গমনের ক্ষমতা যে কেবল বেশী তাপমাত্রাতেই হয় তাহা নয়। চরম স্কেলের যে কোন তাপমাত্রাতেই সমস্ত বস্তু তাপ নির্গমন করে, কেবল উচ্চ তাপমাত্রায় বেশী এবং কম তাপমাত্রায় কম। আবার বস্তু এই তাপ নির্গমন করিলেও ইহা বস্তুর বাহিরের পৃষ্ঠ হইতেই হয়। পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বেশী হইলে তাপ নির্গমন সেই অনুপাতে বেশী হয়, কম হইলে কম হয়। তৃতীয়তঃ, এই তাপ নির্গমন বস্তুর বাহিরের পৃষ্ঠের অবস্থার উপর নির্ভর

করে ; পৃষ্ঠ চকচকে হইলে নির্গমন কম হয়, ময়লা হইলে কিছু বেশী হয়, আর কাল রঙ্ বা ভূষাকালি দিয়া ভাল করিয়া আবৃত হইলে সর্বাপেক্ষা অধিক হয়।

এই তাপ চতুর্দিকে সমভাবে নির্গমন হয় এবং কোন দিকে আর একটি বস্তু থাকিলে যে রশ্মি উহার উপর পড়ে তাহা ঐ বস্তুর বাহিরের পৃষ্ঠ দ্বারা কিছুটা প্রতিফলিত ও কিছুটা শোষিত হয়, আর যদি উহা স্বচ্ছ হয় তবে বাকিটা প্রতিসরিত হয়। যদি এই দ্বিতীয় বস্তু অস্বচ্ছ হয় তবে উহা আংশিক প্রতিফলিত ও আংশিক শোষিত হয়। কত অংশ প্রতিফলিত হইবে এবং কত অংশ শোষিত হইবে তাহা কিন্তু **এই দ্বিতীয় বস্তুর তাপ মাত্রার উপর নির্ভর করিবে না।** ইহা নির্ভর করিবে কেবল বাহিরের পৃষ্ঠের অবস্থার উপর। যদি উহা পালিশ করা ও মসৃণ হয়, তবে প্রতিফলিত হয় বেশী অংশ, শোষিত হয় কম অংশ। আর যদি উহা ময়লা হয় তবে প্রতিফলিত হয় কম অংশ, শোষিত হয় বেশী অংশ। উহা কাল রঙ্ বা ভূষাকালি দ্বারা ভালভাবে আবৃত হইলে প্রায় সমস্তই শোষিত হইবে, প্রতিফলিত হইবে অতি নগণ্য অংশ। এইসবই পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত তথ্য। সুতরাং **যে পৃষ্ঠ যত সহজ শোষক সেই পৃষ্ঠই তত সহজ নির্গমক** (Good absorbers are good emitters)। স্মরণ রাখিতে হইবে যে, **নির্গমন চরম একক তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীল, কিন্তু শোষণ তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীল নয়।**

আঁধার বস্তু (Black Body) : যে বস্তুর উপর আপতিত তাপ-রশ্মির সমস্তটাই শোষিত হয় তাহাকে বলে **আঁধার বস্তু**। কোন বস্তুর উপর ভাল করিয়া ভুষাকালি বা গাঢ় কাল রঙ্ মাখাইলে উহা একটি আঁধার বস্তুতে পরিণত হয়। উহার উপর আপতিত তাপ-রশ্মি পুরাপুরি শোষিত হয়। সুতরাং উহার তাপমাত্রা অনুসারে সমস্ত রশ্মি উহা হইতে নির্গমন হয়। এই কাল রঙ্ মাখান বাধ্যতামূলক নয়।

ফেরী (Fery) একটি আঁধার বস্তু তৈয়ারী করিয়াছিলেন। উহা ফাঁপা এবং উহার একদিকে সামান্য একটি ছিদ্র আছে। কোন রশ্মি উহার ভিতর হইতে প্রায় বাহিরে আসিতে পারে না, ভিতরেই বারবার প্রতিফলিত হয়। প্রত্যেক প্রতিফলনে কিছু কিছু শক্তি শোষিত হয়। ফলে উহা সমস্তই শোষিত হয়, বস্তুর তাপমাত্রা বাড়ে এবং অবশেষে একটি সাম্য অবস্থা প্রতিষ্ঠিত হয়। তখন উহা একটি আঁধার বস্তুতে পরিণত হয়।

8·17. ষ্টিফানের সূত্র (Stefan's Law) : নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষা হইতে ষ্টিফান একটি সূত্র প্রণয়ন করেন। যে কোন বস্তু হইতে নির্গত তাপ-রশ্মি ঐ বস্তুর চরম এককে তাপমাত্রার চতুর্থ ঘাতের (fourth power) সহিত সমানুপাতিক। **বোলৎজ্‌ম্যান** তত্ত্বগতভাবে (theoretically) ইহা প্রমাণ করেন। তাহার সহিত তিনি দেখান যে এই সূত্র আঁধার বস্তুর ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। ষ্টিফানের সূত্র নিম্নরূপ—

যদি একটি আঁধার বস্তুকে (চরম তাপমাত্রা T) আর একটি আঁধার বস্তু (চরম তাপমাত্রা T_0) দিয়া চতুর্দিকে বেষ্টিত করিয়া রাখা হয়, তাহা হইলে যদি প্রথম বস্তুর

বাহিরের পৃষ্ঠের প্রতি একক ক্ষেত্রফল হইতে প্রতি সেকেণ্ডে নির্গত শক্তি হয় E, তবে

$$E = \sigma (T^4 - T_0^4) \quad \cdots \quad \cdots \quad (8{\cdot}17{\cdot}1)$$

আর যে কোন আঁধার বস্তুর (তাপমাত্রা T° চরম) বাহিরের গাত্রের প্রতি একক ক্ষেত্রফল হইতে প্রতি সেকেণ্ডে নির্গত শক্তি হইবে,

$$H = \sigma T^4 \quad \cdots \quad \cdots \quad (8{\cdot}17{\cdot}2)$$

এখানে σ হইতেছে ষ্টিফানের ধ্রুবক (Stefan's Constant)। ইহার মান $5{\cdot}72 \times 10^{-5}$ আর্গ/সেকেণ্ড/সে.মি.^{2}/ডিগ্রী চরম^4 ।

যদি বস্তুটি আঁধার বস্তু না হয় তবে H-এর মান পরীক্ষা দ্বারা বাহির করিয়া সমীকরণ 8·17·2-এ σ-র মানের সহিত বসাইলে T-র যে মান বাহির হইবে তাহা বস্তুটির আসল তাপমাত্রা নয়, উহা ঐ বস্তুর উপযুক্ত আঁধার বস্তু তাপমাত্রা (Black Body Temperature)।

ষ্টিফানের সূত্রের প্রয়োগ : সূর্যের বাহিরের গাত্রের তাপমাত্রা— ষ্টিফানের সূত্রের সাহায্যে সূর্যের বহিঃপৃষ্ঠের তাপমাত্রা হিসাব করা যায়। পৃথিবী-পৃষ্ঠে এক বর্গ সেন্টিমিটার ক্ষেত্রফলের একটি বোলোমিটার (Bolometer) সূর্যরশ্মির অভিলম্ব তলে রাখিয়া প্রতি সেকেণ্ডে কত শক্তি উহার উপর পড়িতেছে তাহা প্রথমে পরিমাপ করা হয়। বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়া আসিতে যে সামান্য শক্তি শোষিত হয় তাহা হিসাব করিয়া ইহার সহিত যোগ দেওয়া হয়। ইহা হইল প্রায় 0·0383 ক্যালরি প্রতি সেকেণ্ড।

সূর্য হইতে পৃথিবীপৃষ্ঠের দূরত্ব প্রায় 93×10^6 মাইল। সূর্যকে কেন্দ্র করিয়া এই ব্যাসার্ধের একটি গোলক কল্পনা করা যাইতে পারে। তাহার পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল × 0·0383 ক্যালরি হইবে এই পৃষ্ঠের দ্বারা গৃহীত শক্তি। আবার সূর্য একটি গোলক ; ইহার ব্যাসার্ধ 4,30,000 মাইল।

ষ্টিফানের সূত্রানুযায়ী, যদি সূর্যের পৃষ্ঠের তাপমাত্রা হয় T° চরম, তবে সূর্যের পৃষ্ঠের প্রতি বর্গ সে.মি. হইতে নির্গত শক্তি হইবে σT^4 ক্যালরি প্রতি সেকেণ্ড। সুতরাং সূর্য হইতে প্রতি সেকেণ্ডে নির্গত মোট শক্তি হইবে সূর্য পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল × σT^4 । এই দুই শক্তি সমান হইবে। সুতরাং—

$$4\pi \times (93 \times 10^6)^2 \times 0{\cdot}0383 = 4\pi \times (4{,}30{,}000)^2 \times 5{\cdot}72 \times 10^{-5} \times T^4 \,;$$

$$\therefore \quad T^4 = \frac{(93 \times 10^6)^2 \times 0{\cdot}0383}{(4{,}30{,}000)^2 \times 5{\cdot}72 \times 10^{-5}},$$

সমাধান করিলে পাওয়া যাইবে,

$$T = 6000^\circ \text{ চরম (প্রায়)।}$$

[এখানে ক্ষেত্রফল হিসাব করা হইয়াছে বর্গ মাইলের হিসাবে, বর্গ সে.মি.-এর হিসাবে নয়। কিন্তু সমীকরণের দুই দিকেই উহা করাতে কোন ভুল হয় নাই।]

প্রশ্নমালা

1. কোন বস্তুর তাপ বর্জন বা অর্জন কি কি পদ্ধতিতে হয় ? প্রত্যেক পদ্ধতির কয়েকটি দৃষ্টান্ত দাও।

2. তাপ সঞ্চালনের কি কি পদ্ধতি আছে ? তাহাদের পার্থক্য কি ?

3. বিভিন্ন ধাতুর তাপ-পরিবাহিতার তুলনামূলক মান নিরূপণ ঐ ঐ ধাতুর দণ্ড লইয়া কিভাবে করা যায় তাহার বিবরণ দাও।

4. তাপ পরিবহণে স্থির ও স্থিরপূর্ব অবস্থার তাৎপর্য বিশ্লেষণ কর।

5. তরল ও গ্যাসের তাপ-পরিবাহিতা কম না বেশী ? ইহার ফল আমাদের দৈনন্দিন জীবনে কিরূপ হয় ?

6. একটি কাঁচের সাসি 0·3 সে. মি. পুরু। উহার ভিতরের পৃষ্ঠ 30°C তাপমাত্রায়, আর বাহিরের পৃষ্ঠ 40°C উষ্ণতায় আছে। যদি সাসির ক্ষেত্রফল 2 বর্গ মিটার হয়, আর যদি উহার মধ্য দিয়া পরিবহণের দ্বারা প্রতি সেকেণ্ডে $1333\frac{1}{3}$ ক্যালরি তাপ সঞ্চালিত হয়, তবে কাঁচের তাপ পরিবহণ গুণাংক কত হইবে ? [উঃ—0·002 সি.জি.এস একক]

7. দুইটি ভিন্ন পদার্থের দুইটি স্তরের মধ্য দিয়া পরিবহণের দ্বারা তাপ সঞ্চালিত হইতেছে। প্রত্যেক স্তর এক সে. মি. পুরু এবং তাহাদের তাপ-পরিবাহিতা যথাক্রমে 0·2 ও 0·3। যদি দুই প্রান্তীয় পৃষ্ঠের তাপমাত্রা হয় 100°C ও 0°C, তবে উহাদের সাধারণ পৃষ্ঠের তাপমাত্রা কত হইবে ? [উঃ—40°C]

8. পরিবহণ ও পরিচলনের পার্থক্য কি ? একটি তরলের মধ্যে কেবল পরিবহণের দ্বারা তাপ সঞ্চালন কি করিয়া করা যায় ?

9. পরিচলনের কয়েকটি সহজ দৃষ্টান্ত দাও।

10. "গাছের ছায়ায় বায়ুর তাপমাত্রা 40°C আর রৌদ্রে বায়ুর তাপমাত্রা 45°C—এই উক্তি কি সঠিক ? যদি সঠিক না হয়, তবে কেন নয়, যুক্তি দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

11. তাপের বিকিরণ বলিতে কি বুঝায় ? তাপ বিকিরণের সঙ্গে ঈথারের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের সম্বন্ধ কি ?

12. থার্মোস্কোপের সাহায্যে তাপ-রশ্মির অস্তিত্ব কিভাবে পরীক্ষা করা যায়, তাহা একটি চিত্র দ্বারা বোঝাও।

13. তাপ-রশ্মি ও আলোক-রশ্মির তুলনামূলক আলোচনা কর।

14. তাপ-রশ্মির নির্গমন ও শোষণ কি ? যে পৃষ্ঠ যত সহজ শোষক সেই পৃষ্ঠই তত সহজ নির্গমক—ইহার অর্থ কি ?

15. আঁধার বস্তুর বিকিরণ বলিতে কি বোঝ ? এই বিকিরণের বৈশিষ্ট্য বর্ণনা কর।

16. ষ্টিফানের সূত্রটি কি ? এই সূত্র দ্বারা সৌরমণ্ডলের পৃষ্ঠের তাপমাত্রা কিভাবে বাহির করা সম্ভবপর ?

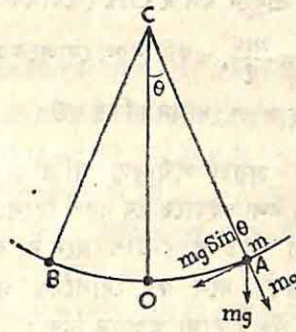
দোলন ও তরঙ্গ
(Vibrations and Waves)

শব্দ বিজ্ঞান (Sound)

প্রথম পরিচ্ছেদ
দোলন ও তাহার বৈশিষ্ট্য
(Vibrations and its Characteristics)

1.1. সরল দোলকের গতি (Motion of a Simple Pendulum) ঃ নবম শ্রেণীতে তোমরা সরল দোলক সম্বন্ধে কিছুটা পড়িয়াছ। তোমরা জান যে একটি ভারী বস্তু, যেমন—একটি ধাতুর গোলককে একটি শক্ত সুতা দিয়া বাঁধিয়া ঝুলাইয়া রাখিলে, তাহাকে একটি **সরল দোলক** বলা যায়। এখন যদি গোলকটিকে যে কোন একপাশে কিছুটা টানিয়া আনার পর ছাড়িয়া দেওয়া হয়, তবে গোলকটি এপাশ-ওপাশ দুলিতে থাকিবে। দোলকের এই প্রকার গতিকে **দোলন গতি** (Oscillatory Motion) বলা হয়।

চিত্র নং 1-এ একটি সরল দোলকের দোলন দেখান হইয়াছে। স্থির বা সাম্য অবস্থায় গোলকটির অবস্থিতি O বিন্দুতে এবং একটি দৃঢ় বিন্দু C হইতে শক্ত সুতা দ্বারা অভিলম্ব অবস্থায় ঝুলান আছে। মনে কর, এই গোলকটিকে ডানদিকে A বিন্দু পর্যন্ত আনা হইল। এই অবস্থা হইতে ছাড়িয়া দিলে ইহা O বিন্দুর দিকে যাইতে থাকিবে। শুধু তাহাই নহে, এই গোলকটি O বিন্দুটিকে মধ্য বিন্দু করিয়া AOB পথে ক্রমাগত দোল খাইতে থাকিবে। এরূপ কেন হয়? ইহার সরল ব্যাখ্যা নিম্নলিখিতভাবে দেওয়া যায় ঃ



চিত্র নং 1 ঃ সরল দোলক।

দোলকের গতিভঙ্গির ব্যাখ্যা (Explanation of Oscillatory Motion of a Simple Pendulum) ঃ দোলকটিকে অভিলম্ব অবস্থা হইতে যে কোন পাশে সরাইয়া নিলে C বিন্দুতে ঝুলান সুতাটি যে কোণ তৈয়ারী করে তাহাকে **কৌণিক সরণ** (Angular Displacement) বলে। চিত্রে OCA কোণ দোলন কালের যে কোন মুহূর্তে হয়, তাহাকে **সেই মুহূর্তের** কৌণিক সরণ বলে। মনে কর, $\angle OCA = \theta$।

সরল দোলকের গতিবিন্যাস করিতে আমরা প্রথমেই ধরিয়া লই যে ইহার গতিপথ AOB বৃত্তাংশের উপর থাকিলেও **এই বৃত্তাংশ এত ছোট যে প্রায় সরলরেখাই মনে করা যাইতে পারে।** সুতরাং জ্যামিতি অনুসারে কৌণিক সরণও খুব ক্ষুদ্র হইবে। যদি গোলকটির ওজন mg হয়, তবে এই ওজনরূপ **বল** (force)

সর্বসময়ে পৃথিবীর দিকে অভিলম্বে প্রযুক্ত হইবে। গোলকটি যখন A বিন্দুতে উপস্থিত হয়, তখনও mg বল খাড়া নীচের দিকে কাজ করে। এই বলের উপাংশ যাহা AC রেখার বিপরীত দিকে কাজ করে, তাহার মান $mg\cos\theta$ এবং যে উপাংশ বৃত্তাংশের স্পর্শক তাহার মান $mg\sin\theta$।

নিরীক্ষায় দেখা যায় যে গোলকটি স্পর্শকের দিকেই গতিসম্পন্ন হয়। সুতরাং কার্যকরী বল একমাত্র $mg\sin\theta$। অতএব সহজেই অনুমান করা যায় যে, AC অভিমুখে সুতার টান এবং $mg\cos\theta$ সমান এবং পরস্পরবিরোধী এবং এই বল দুইটি সরল দোলকের গতিবিন্যাসে অংশগ্রহণ করে না। উপরিউক্ত উদাহরণে যদি কৌণিক সরণ θ অতি ক্ষুদ্র মনে করা হয়, তবে $\sin\theta\approx\theta$ রেডিয়ান।

সুতরাং $\sin\theta\approx\theta=\dfrac{OA}{OC}$; এখানে $OC=l=$ সরল দোলকের দৈর্ঘ্য।

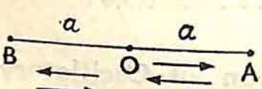
অতএব, গোলকের উপর প্রযুক্ত বল $=mg\sin\theta=\dfrac{mg}{l}\times OA$;

$\therefore$ প্রযুক্ত বল $\propto$ OA (রৈখিক সরণ) ... ... (1.1.1)

যেহেতু $\dfrac{mg}{l}$, একটি সরল দোলকের ক্ষেত্রে ধ্রুবক।

ইহাই সরল দোলন গতির শর্ত।

1.2. সরল পর্যাবৃত্ত গতি (Simple Harmonic Motion): পূর্ব অনুচ্ছেদে বলা হইয়াছে যে সরল দোলকের কৌণিক সরণ **এত কম হইতে হইবে** যে তাহার গতিপথ বৃত্তাংশ মনে না করিয়া সরলরেখাও ধরা যাইতে পারে। সেই পরিপ্রেক্ষিতে মনে কর দোলকের গতিপথ BOA (চিত্র নং 2)। এখানে O হইতেছে উহার সাম্য অবস্থান বিন্দু। O-তে থাকিবার সময়ে উহার উপর কোন বল প্রযুক্ত হয় না। ধর, গোলকের উপর একটি আঘাত (Impulse) দেওয়ার ফলে উহা A-র দিকে একটি বেগ সহ চলিতে লাগিল। O ছাড়িয়া A-র দিকে যাওয়া মাত্র যদি O-র দিকে O হইতে দূরত্বের সমানুপাতিক বল প্রযুক্ত হয়, তবে ঐ বলের ফলে গতির বিপরীত দিকে ত্বরণ (বা গতির দিকে মন্দন) সৃষ্টি হইবে। ফলে বস্তুর গতি কমিতে থাকিবে। ধর, A-তে (O হইতে দূরত্ব a) আসিয়া বস্তু সাময়িকভাবে থামিয়া গেল। এই অবস্থায় OA-কে আমরা রৈখিক বিস্তার বলিব। সুতরাং বিস্তারের সংজ্ঞা হইতেছে—**কোন বস্তুবিন্দুর সরণ অথবা কোন ভৌত রাশির যদি পর্যাবৃত্ত বা দোল গতি হইতে থাকে, তবে সাম্য বিন্দু হইতে তাহার সর্বাধিক সরণকে আমরা ঐ রাশির বিস্তার (amplitude) বলি।** চিত্রে **OA = OB** = গোলকটির দোল গতির বিস্তার। যখন A বিন্দুতে



চিত্র নং 2 : সরল পর্যাবৃত্ত গতি।

পৌঁছাইল তখনও O-র দিকে বল প্রযুক্ত থাকিবে। তখন বস্তু A হইতে O-র দিকে আবার আসিতে থাকিবে। দূরত্ব কমিতে থাকায় ত্বরণ কমিবে, কিন্তু বেগ ক্রমেই বাড়িতে থাকিবে। O-তে আসামাত্র সরণ শূন্য হইবে এবং সেই কারণে প্রযুক্ত বলও থাকিবে না। সুতরাং ত্বরণ শূন্য হইবে, কিন্তু বেগ চরম (maximum) হইবে। জাড্য ধর্মের জন্য O পার হইয়া বস্তু যখন B-র দিকে যাইতে থাকিবে তখন O-র দিকে ক্রমবর্ধমান বল প্রযুক্ত হইতে থাকিবে। বস্তু O হইতে বামদিকে a দূরত্বে B-তে আসিয়া থামিবে এবং আবার ডানদিকে চলিতে থাকিবে। ফলে বস্তু O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া সরলরেখা অনুসরণ করিয়া দুলিতে থাকিবে।

1·2. সরল দোল গতি (Simple Harmonic Motion) : কোন ভর বিন্দুর গতি যদি নিম্নের তিনটি শর্ত পূরণ করে, তবে তাহাকে **সরল দোল গতি** বলে। নিম্নে শর্ত তিনটি হইল—

(i) **পর্যাবৃত্ত গতি** (Periodic Motion) : ইহার অর্থ, ভরবিন্দুটি একটি নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে একই অবস্থিতি পরম্পরায় (succession of positions) গমন করে।

(ii) গতি একটি সরলরেখা ধরিয়া এমনভাবে চলে যে, ভরবিন্দুতে **সব সময়েই** একটি **নির্দিষ্ট** বিন্দুর দিকে বল প্রযুক্ত হয়। এই নির্দিষ্ট বিন্দুটি একটি **সাম্য অবস্থান বিন্দু** (position of equilibrium)। ঐ বিন্দুতে অবস্থানের সময় উহার উপর দোল গতি উৎপাদনের কোন বল প্রযুক্ত হয় না।

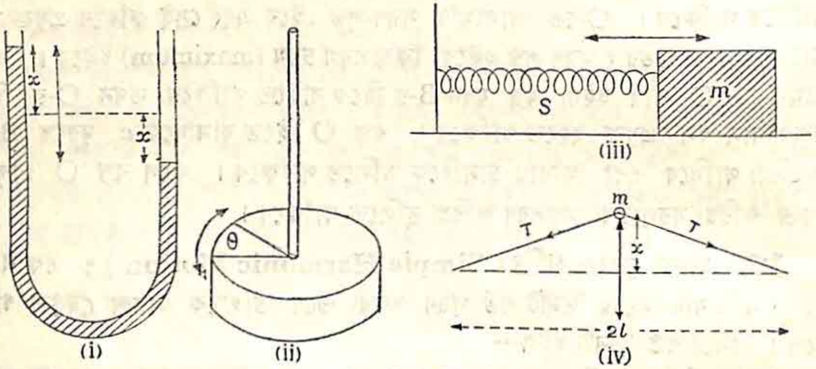
(iii) যে কোন বিন্দুতে অবস্থানের সময় ভর বিন্দুর উপর প্রযুক্ত বলের মান সাম্য অবস্থান বিন্দু হইতে ঐ বিন্দুর দূরত্বের সহিত সমানুপাতিক।

পর্যাবৃত্ত গতি (Periodic Motion) বলিতে আমরা বুঝি যে কোন বস্তু কণা একটি বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া এমনভাবে ঘোরে বা যাতায়াত করে যে একটি নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে ঠিক একই বিন্দুতে এবং একই গতিবেগে আসিয়া উপস্থিত হয়। যে পথে বস্তু কণা যাতায়াত করিতে থাকে তাহাকে উহার **গতিপথ** অথবা **কক্ষপথ** (Orbit) বলা হয়। পর্যাবৃত্ত গতির কক্ষপথ সাধারণতঃ বৃত্ত, উপবৃত্ত বা যে কোন জ্যামিতিক আবদ্ধ চিত্র (Closed Geometrical figure) হইতে পারে। যেমন একটি চাকা কোন স্থির অক্ষে সমবেগে ঘুরিতেছে। চাকার উপর একটি বিন্দু কল্পনা করিলে ঐ বিন্দুটি বৃত্তাকারে পর্যাবৃত্ত গতিতে চলিতেছে। পৃথিবী সূর্যের চারিদিকে উপবৃত্ত কক্ষপথে ঘুরিতেছে। পৃথিবীর সূর্যকে কেন্দ্র করিয়া ঘূর্ণনের পর্যায় কাল এক বৎসর।

নিম্নে কয়েকটি সরল যন্ত্রের (Mechanical Model) ক্রিয়া দেখান হইতেছে যাহার দ্বারা পর্যাবৃত্ত গতি দেখান সম্ভবপর। সরলতম পর্যাবৃত্ত গতিকেই সরল দোল গতি বলা হয় যাহার উদাহরণ সরল দোলক।

চিত্র নং 3 (i)-এ একটি U আকৃতিবিশিষ্ট নল একটি সান্দ্রতাহীন (Non-viscous) তরলে আংশিক পূর্ণ। সাধারণতঃ দুই দিকের নলে তরলের পৃষ্ঠদেশ একই থাকে।

ইহাকেই সাম্য অবস্থিতি বলে। এখন যদি জোর করিয়া একদিকের নলে তরলের লেভ্‌ল x-গভীরে নামাইয়া ছাড়িয়া দেওয়া হয়, তবে অপরদিকের নলে তরলের লেভ্‌ল



চিত্র নং 3 : যান্ত্রিক শ্রেণী।

x-উচ্চতায় উঠিয়া যাইবে। তাহার পর, দুই নলের লেভ্‌লই সাম্য লেভ্‌লকে কেন্দ্র করিয়া উপরে ও নীচে উঠিতে নামিতে থাকিবে। ইহার গতি হইবে সরল দোল গতি।

চিত্র নং 3 (*ii*)-এ একটি চাকতি কেন্দ্রের মধ্য দিয়া একটি তার দ্বারা ঝুলান হইয়াছে। চাকতিটি θ কোণ মুচড়াইয়া ছাড়িয়া দিলে উহা একবার একদিকে আর একবার উল্টাদিকে ঘুরিতে থাকিবে। ইহার গতি রৈখিক নয়, কৌণিক এবং ইহাও সরল দোল গতি।

চিত্র নং 3 (*iii*)-এ একটি **মসৃণ** টেবিলের উপর মসৃণ গাত্রবিশিষ্ট একটি ওজন (m) রাখা আছে। ইহা একটি লম্বা স্প্রিং (S) দ্বারা একটি দৃঢ় অবলম্বনের (support) সহিত যুক্ত। ওজনটি একটু ডানদিকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা সরল দোল গতিতে একবার ডানদিকে আর একবার বামদিকে চলিতে থাকিবে।

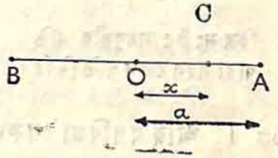
চিত্র নং 3 (*iv*)-এ দুইদিকে দৃঢ়ভাবে আটকান একটি তারের মধ্যে একটি ছোট বস্তু (m) আছে। বস্তুটিকে উপরের দিকে কিছুটা টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা একবার উপরে উঠিবে, একবার নীচে নামিবে। উহার গতি হইবে পর্যাবৃত্ত গতি। এই সকলই যান্ত্রিক শ্রেণীর সরল দোল গতি। কিন্তু মনে রাখা দরকার, পর্যাবৃত্ত গতি অতি ব্যাপক। বহু ঘটনার মূল কারণ কোন-না-কোন ধরনের সরল দোল গতি। আলোকের উদ্ভব, পরিবর্তী (alternating) বিদ্যুৎ প্রবাহ, শব্দের উদ্ভব, রেডিও তরঙ্গ, সকলেরই মূল কারণ কোন-না-কোন রাশির পর্যাবৃত্ত গতি।

উপরিউক্ত দৃষ্টান্তগুলি হইতে ইহাই অনুমান করা যায় যে **দোলন হইতেছে একটি ধারাবাহিক ঘটনা প্রবাহ, যাহাতে প্রতিটি ঘটনা একই পরম্পরায় একটি নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে পুনরায় ঘটে।**

সুতরাং দোলন একটি **পর্যাবৃত্ত গতি** (Periodic motion) বা **পরিবর্তন**।

আর যে কোন ঘটনা ও তাহার পুনরায় ঘটার মধ্যেকার সময়কালকে বলে ঐ দোলনের **পর্যায় কাল** (Time period) এবং একক সময়ে যত **পরিবর্তন ধারা** (cycle of events) সমাপ্ত হইয়াছে তাহাকে বলে **কম্পাংক** (Frequency)। যদি একটি দোলনের পর্যায় কাল হয় 3 সেকেণ্ড, তবে উহার কম্পাংক হইবে $\frac{1}{3}$ প্রতি সেকেণ্ড। আবার, যে কোন ঘটনাকে মূল ধরিলে উহা হইতে ধারাবাহিক পরিবর্তনের ফলেই ঘটনা পরম্পরা ঘটিতে থাকে এবং এইভাবেই মূল ঘটনার পুনরাবৃত্তি ঘটে। ঐ ঘটনার স্থিতাবস্থা হইতে সর্বাপেক্ষা অধিক পরিবর্তনকে বলে দোলনের **বিস্তার** (Amplitude)। যেমন, একটি দোলকের ক্ষেত্রে মধ্যবিন্দু হইতে এধার-ওধার দুলিতে থাকাই ঘটনা এবং দোলন কালে এই মধ্যবিন্দু বা স্থিতাবস্থা হইতে সর্বাধিক দূরত্বই বিস্তার। আর যে কোন ঘটনা মূল ঘটনা হইতে একটি সম্পূর্ণ পরিবর্তন ধারার (cycle) যে পর্যায়ে (stage) অবস্থিত তাহাকে ঐ ঘটনার **দশা** (Phase) বলে।

1·3. সরল দোল গতির সমীকরণ : ধর, একটি বস্তু (ভর m) O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া সরল দোল গতিতে দুলিতেছে (চিত্র নং 4)। মনে কর, উহার বিস্তার a। C একটি বিন্দু ; O হইতে উহার দূরত্ব x। ধর, মূলবিন্দু O এবং OA-র দিক্ ধনাত্মক, এবং OB-র দিক্ ঋণাত্মক। বস্তুটি একবার C অতিক্রম করিয়া A-র দিকে যাইবে, আবার A হইতে ফিরিয়া C অতিক্রম করিয়া O-র দিকে আসিবে। উহার গতি যে দিকেই হউক, সরল দোল গতির শর্ত অনুসারে উহার উপর প্রযুক্ত বল CO-র দিকে—অর্থাৎ ঋণাত্মক হইবে। আর উহার মান হইবে x-এর সহিত সমানুপাতিক। যদি এই বল ঐ ভর (m)-এর উপর (f) ত্বরণ সৃষ্টি করে, তবে C-তে থাকিবার মুহূর্তে বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল হইবে mf।



চিত্র নং 4 : সরল দোল গতি।

$\therefore \quad mf = -\mathrm{K}x$

বা, $mf + \mathrm{K}x = 0$ ... ... (1·3·1)

বা, $f + \frac{\mathrm{K}}{m} x = 0$ ... ... (1·3·2)

যদি $\frac{\mathrm{K}}{m}$-কে ধরা হয় ω^2-এর সমান (ω একটি ধ্রুবক),

তবে $f + \omega^2 x = 0$ ... ... (1·3·3)

[অন্তরকলন গণিতের ভাষায়, $f = \frac{d^2x}{dt^2}$

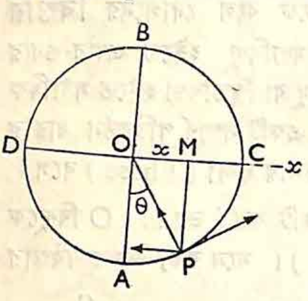
সুতরাং $\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$ ... ... (1·3·4)]

সমীকরণ (1·3·3)-কে সরল দোল গতির সমীকরণ বলে।

এই সমীকরণ হইতে বস্তুটির যে কোন t সময়ে উহার তাৎক্ষণিক সরণ x বাহির করিলে দেখা যায় যে মূলবিন্দু O হইতে সময়ের পরিমাপ করা হইলে এবং বিস্তার OA$=a$ ধরা হইলে, নিম্নলিখিত সমীকরণ

$x=a \sin \omega t$ পাওয়া যায়। ... ... (1·3·5)

1·4. সমবৃত্তীয় গতি দ্বারা সরল দোল গতির প্রকাশ (Representation of a Simple Harmonic Motion by a Uniform Circular Motion) :



চিত্র নং 5 : সমবৃত্তীয় গতি দ্বারা সরল দোল গতি নির্ণয়।

ধর, একটি ভরবিন্দু O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া কৌণিক বেগ ω সহ a ব্যাসার্ধের একটি বৃত্ত অনুসরণ করিয়া ঘুরিতেছে (চিত্র নং 5)। ধর, উহা A বিন্দু হইতে চলিতে আরম্ভ করিল। তাহা হইলে উহা যেমন বৃত্ত অনুসরণ করিয়া চলিতেছে, সঙ্গে সঙ্গে ব্যাসার্ধ OA কৌণিক বেগ ω সহ ঘুরিতেছে। মনে কর, t সময় পরে বস্তুটি P-তে আসিয়াছে। তাহা হইলে t সময়ে বস্তুটি ব্যাসার্ধ OA হইতে OP-তে আসিবে এবং $\angle AOP=\theta=\omega t$। ∵ P-তে স্পর্শক দিকে বস্তুটির রৈখিক বেগ ωa। আর বলবিদ্যা পঞ্চম পরিচ্ছেদে আলোচনা করা হইয়াছে যে ঐ বস্তুটির উপর অভিকেন্দ্রিক বল $m\omega^2 a$ সব সময়ই প্রযুক্ত থাকে। সুতরাং P-তে বস্তুটির PO দিক্ বরাবর একটি ত্বরণ $\omega^2 a$ আছে। x-দিক্ বরাবর এই ত্বরণের উপাংশ হইবে, $-\omega^2 a \sin \theta$। P হইতে x-দিকের উপর যদি লম্ব PM টানা হয়, তবে M বিন্দুর OC-দিক্ বরাবর একটি ত্বরণ থাকিবে, $-\omega^2 a \sin \theta = -\omega^2 a \times \frac{OM}{OP} = -\omega^2 x$। সুতরাং x-দিক্ বরাবর M বিন্দুর ত্বরণ মূলবিন্দু O হইতে M-এর দূরত্বের (অর্থাৎ x-এর সেই মুহূর্তের মানের) সহিত সমানুপাতিক। কারণ, P বিন্দু সমকৌণিক বেগে চলিতেছে এবং ω একটি ধ্রুবক। যখন P বিন্দু B অতিক্রম করিয়া BDA ধরিয়া চলিতেছে, তখন M-এর ত্বরণ হইবে $+\omega^2 x$, কিন্তু তখন x ঋণাত্মক। সুতরাং M-এর ত্বরণ সব সময়েই $-\omega^2 x$ হইবে। স্পষ্টতঃই সরল দোল গতির তিনটি শর্তই M-এর গতিতে পালিত হইতেছে। সুতরাং M-এর গতি সরল দোল গতি। আর t সময়ে মূলবিন্দু O হইতে M-এর দূরত্ব, বা t সময়ে M-এর সরণ হইবে, OM$=a \sin \theta = a \sin \omega t$ ... ... (1·4·1)

দেখা যাইতেছে, একটি ভরবিন্দুর সরল দোল গতি একটি কল্পিত সমকৌণিক বেগে আবর্তনশীল ভরবিন্দুর গতির সাহায্যে অতি সহজে প্রকাশ করা যায়। এখানে M বিন্দুটি O-কে কেন্দ্র করিয়া সরল দোল গতিতে চলিতেছে। মুহূর্তে মুহূর্তে ইহার বেগই শুধু বদলাইতেছে না ইহার ত্বরণও বদলাইতেছে। কোন সমীকরণের সাহায্যে ইহার

গতি বিশ্লেষণ করা বিশেষ কষ্টসাধ্য। কিন্তু ইহার গতিও একটি কল্পিত আবর্তনশীল ভর বিন্দুর গতি। এই দুইয়ের মধ্যকার সম্পর্ক হইতে এই বিশ্লেষণ সহজ হইয়া পড়ে।

ধর, একটি ভর বিন্দু M সরল দোল গতিতে মূলবিন্দু O-কে কেন্দ্র করিয়া যথাক্রমে C ও D পর্যন্ত ($OC=OD=a$) একবার ডানদিকে আর একবার বামদিকে যাইতেছে। আর একই সঙ্গে কল্পিত ভর বিন্দুটি (P) A বিন্দু হইতে ঘড়ির কাঁটার গতির বিপরীত দিকে কৌণিক বেগ ω সহ ঘুরিতেছে, যাহাতে M সব সময়েই P হইতে DOC-র উপর নিক্ষিপ্ত অভিলম্বের উপর থাকে। তাহা হইলে P-র গতির OC দিক্ বরাবর উপাংশ হইবে M-এর গতি। M যখন O-তে P তখন A-তে; M যখন C-তে P তখন C-তে; আবার M যখন O-তে, P তখন B-তে; M যখন D-তে, P তখন D-তে এবং M যখন এক পর্যায় কাল শেষে O-তে, P-ও তখন এক আবর্তন শেষে A-তে,… ইত্যাদি। এই কল্পিত বৃত্তকে বলে **রেফারেন্স বৃত্ত** (Circle of reference)। আর এই কল্পিত আবর্তনশীল ভর বিন্দুকে বলে **উৎপাদক বিন্দু** (Generating point)। এই উৎপাদক বিন্দুর একবার আবর্তনের সময় সরল দোল গতির **পর্যায় কাল** (Time period)। কোন মুহূর্তে উৎপাদক বিন্দুর অনুরূপ (corresponding) ব্যাসার্ধের অভিক্ষেপ সরল দোল গতির ঐ মুহূর্তের সরণ (displacement)। কোন মুহূর্তে উৎপাদক বিন্দুর বেগের উপাংশ ঐ মুহূর্তে সরল দোল গতির বেগ। আর কোন মুহূর্তে উৎপাদক বিন্দুর অভিকেন্দ্রিক ত্বরণের উপাংশ ঐ মুহূর্তে সরল দোল গতির বিন্দুর ত্বরণ।

সমীকরণ (1·4·1) অনুযায়ী, সরল দোল গতির বিন্দুর t মুহূর্তে সরণ হইতেছে $a \sin \omega t$। এই ω বিন্দুটির কৌণিক বেগ নয়। উহা সরলরেখা ধরিয়া চলে। এই ω হইতেছে উহার উৎপাদক বিন্দুর কৌণিক বেগ।

লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, সরল দোল গতির বিন্দুর বিভিন্ন স্থানে বেগ নিম্নরূপ—

	O-তে	ωa (বামদিক হইতে ডানদিকে)
	M-এ	$\omega a \cos \omega t$ (বামদিক হইতে ডানদিকে)
	C-তে	o
আবার	O-তে	$-\omega a$
	D-তে	o
আবার	O-তে	ωa

বিভিন্ন স্থানে M-র ত্বরণ নিম্নরূপ—

	O-তে	o
	M-এ	$-\omega a \sin \omega t$ (ডানদিক হইতে বামদিকে)
	C-তে	$-\omega a$
আবার	O-তে	o
	D-তে	ωa (বামদিক হইতে ডানদিকে)
আবার	O-তে	o

1·5. সরণ, বিস্তার, পর্যায় কাল, কম্পাংক এবং দশা ঃ

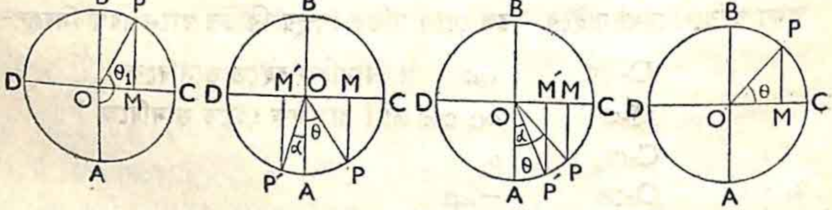
সরণ (Displacement) ঃ সরল দোল গতির কোন কণা যে কোন মুহূর্তের সাম্য অবস্থান হইতে যত দূরত্বে থাকে, তাহা ঐ কণার ঐ মুহূর্তে সরণ।

বিস্তার (Amplitude) ঃ সরল দোল গতির কোন কণা সাম্য অবস্থান হইতে সর্বাধিক যত দূরত্ব পর্যন্ত যাইতে পারে তাহা ঐ সরল দোল গতির বিস্তার। ইহাই হইতেছে রেফারেন্স বৃত্তের ব্যাসার্ধ।

পর্যায় কাল (Time period) ঃ সরল দোল গতির কোন কণার এক পর্যায় সমাপ্ত করিতে যে সময় লাগে, তাহা ঐ সরল দোল গতির পর্যায় কাল। উৎপাদক বিন্দুর রেফারেন্স বৃত্ত পরিক্রমা করিতে একই সময় লাগে।

কম্পাংক (Frequency) ঃ একক সময়ে যতটি পর্যায় সমাপ্ত হয় তাহা সরল দোল গতির কম্পাংক। ইহা পর্যায় কালের বিপরীত (reciprocal)।

দশা (Phase) ঃ কোন নির্দিষ্ট মুহূর্তে সরল দোল গতির কণা একটি সম্পূর্ণ পর্যায়ের যে অংশ অতিক্রম করিয়াছে, তাহাকে ঐ মুহূর্তের দশা বলে। ইহা একটি ভগ্নাংশ মাত্র। চিত্র নং 5-এ M বিন্দুতে অবস্থানের সময় কি দশা হইবে ? ধর, ভর বিন্দুটি C-র দিকে যাইবার জন্য যে মুহূর্তে O বিন্দু অতিক্রম করিল সেই মুহূর্ত হইতে সময় গণনা করা হইতেছে। যদি সেই মুহূর্ত হইতে M-বিন্দুতে পৌঁছাইতে সময় লাগে t, আর পর্যায় কাল হয় T, তবে M-এর দশা হইবে $\frac{t}{T}$।



(i) (ii) (iii) (iv)

চিত্র নং 6

ঐ ভর বিন্দু C-তে পৌঁছাইবার পর বামদিকে ফিরিবার সময় M-কে আবার অতিক্রম করিবে। যদি O হইতে C-তে গিয়া আবার M অতিক্রম করিতে সময় লাগে t_1, তবে এইবার M-এর দশা হইবে $\frac{t_1}{T}$ [চিত্র নং 6 (i)]।

আর একভাবে যে কোন মুহূর্তের দশা প্রকাশ করা যায় এবং তাহাই সুবিধাজনক। চিত্র নং 5-এ সরল দোল গতির ভর বিন্দু যখন M-এ আছে, তখন উহার উৎপাদক বিন্দু

P-তে আছে। আর ব্যাসার্ধ OP প্রারম্ভিক ব্যাসার্ধ OA-র সহিত θ কোণ অন্তর্ভুক্ত করে। এই θ কোণই ঐ মুহূর্তের দশার প্রকাশ। এই দশা হইল—

$$\theta=\omega t=\frac{2\pi t}{T} \quad \left[\because \quad \omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi n, \text{ যদি কম্পাংক হয় } n\right]$$
$$=2\pi nt \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (1\cdot5\cdot1)$$

1·6. গণিত দ্বারা সরল দোল গতির প্রকাশ ঃ যে কোন সরল দোল গতি সহজে গণিতের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়। § 1·3 অনুচ্ছেদে আলোচনা করা হইয়াছে, যে কোন মুহূর্তে সাম্য অবস্থান হইতে ভর বিন্দুর সরণই এই প্রকাশের মাধ্যম। 1·3-তে পড়িয়াছ, ইহা হইল—

$$x=a\sin\theta \qquad [\,\theta \text{ হইতেছে দশা}\,]$$
$$\left.\begin{aligned}&=a\sin\omega t\\&=a\sin\frac{2\pi t}{T}\\&=a\sin 2\pi nt\end{aligned}\right\} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (1\cdot6\cdot1)$$

এখানে মনে রাখিতে হইবে, এমন কোন বাধ্যবাধকতা নাই যে, ভর বিন্দু যখন C-অভিমুখে O বিন্দু অতিক্রম করে তখন হইতেই সময় গণনা করিতে হইবে। ধর, ভর বিন্দু যখন O-অভিমুখে M´ অতিক্রম করে তখন হইতে সময় গণনা করা হইল [চিত্র নং 6 (ii)]। তাহা হইলে M-এর দশা হইবে $(\theta+\alpha)$। কিন্তু সরণ বা x হইতেছে O হইতে M-এর দূরত্ব। সুতরাং সমীকরণ হইবে—

$$x=a\sin(\theta+\alpha)$$
$$=a\sin(2\pi nt+\alpha) \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (1\cdot6\cdot2)$$

চিত্র নং 6 (ii) লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে, প্রারম্ভিক মুহূর্তে সরল দোল গতির ভর বিন্দুর (বা M´-এর) দশা **মূলবিন্দু O সাপেক্ষে** হইতেছে $-\alpha$। যদি M´ মূলবিন্দুর ধনাত্মক দিকে হয় [চিত্র নং 6 (iii)] এবং সরল দোল গতির ভর বিন্দু যখন M´-এ তখন হইতে যদি সময় গণনা করা হয় এবং যদি O হইতে M-এ আসিতে সময় লাগে t, তবে—

$$x=a\sin(2\pi nt-\alpha) \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (1\cdot6\cdot3)$$

এখানে প্রারম্ভিক মুহূর্তে ভর বিন্দুর দশা α।

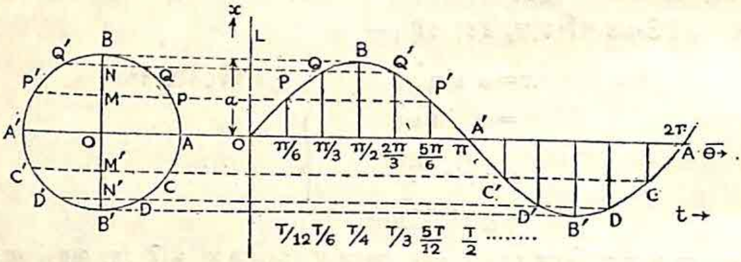
আবার, যখন ভর বিন্দু O হইতে C-তে আসিয়া পৌঁছাইল, তখন হইতে যদি সময় গণনা করা হয়, তবে তাহার পর ভর বিন্দু যখন M-এ আসিবে [চিত্র নং 6 (iv)] তখন M-এর সরণ হইবে, OM = OP $\cos\theta$

বা, $x=a\cos 2\pi nt \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (1.6.4)$

এখানে θ হইতেছে ভর বিন্দুর ঐ মুহূর্তের দশা।

1·7. গ্রাফ দ্বারা সরল দোল গতির প্রকাশ (Graphical Representation of S.H.M) ঃ পূর্বে আলোচনা করা হইয়াছে যে, সরল দোল গতির

সরণ (মূলবিন্দু হইতে) সময়ের সহিত বদলায়, কিন্তু সময়ের সহিত সমানুপাতিকভাবে নয়। যদি সময় এবং তৎ তৎ সরণ গ্রাফ চিত্র দ্বারা অঙ্কন করা হয়, তবে এই গ্রাফ চিত্র ঐ সরল দোল গতিকে সম্পূর্ণভাবে প্রকাশ করিবে। সরণ সময়ের সহিত সমানুপাতিকভাবে বদলায় না, কিন্তু রেফারেন্স বৃত্তের উৎপাদক বিন্দু সময়ের সহিত সমানুপাতিকভাবে ঘোরে। সেইজন্য নিম্নের পদ্ধতির সাহায্যে এই অঙ্কন করা হয়। মনে রাখিবে, $x = a \sin\theta = a \sin\omega t$। সুতরাং দশা বা θ-র সহিত x-কে অঙ্কন করিতে হইবে।



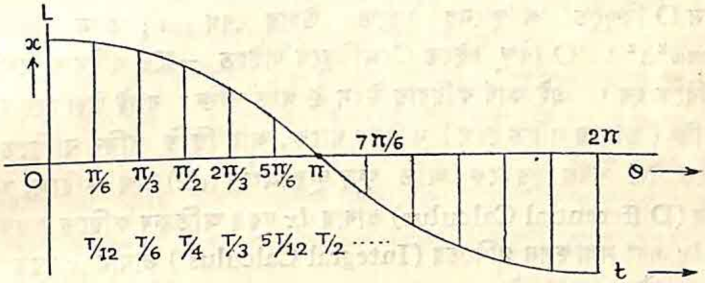
চিত্র নং 7 : গ্রাফের সাহায্যে সরল দোল গতি নির্ণয়।

ধর, একটি ভর বিন্দু O-কে কেন্দ্র করিয়া BOB′ বরাবর সরল দোল গতিতে চলিতেছে (চিত্র নং 7)। এখানে OB বা OB′ হইতেছে উহার বিস্তার। এখন O-কে কেন্দ্র করিয়া OB ব্যাসার্ধ লইয়া একটি বৃত্ত অঙ্কন কর। তাহার পর, A হইতে আরম্ভ করিয়া পরিধিকে বারটি সমান বৃত্তচাপে ভাগ কর, P, Q, B, Q′, P′, A′, C′, D′, B′, D, C। এইবার A′OA-এর দিকে O-কে মূলবিন্দু ধরিয়া গ্রাফ কাগজে দুইটি অভিলম্ব অক্ষ আঁক, OA, OL। OA বরাবর দশা (θ) অথবা সময় (t) এবং OL বরাবর সরণ আঁক। এখন একটি স্কেল ঠিক কর, যাহাতে $OA = 2\pi$ হয় এবং OA-কে 12টি সমান অংশে ভাগ কর, $\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{2}, \frac{2\pi}{3}, \frac{5\pi}{6}, \pi, \ldots\ldots 2\pi$। এইবার বৃত্তে PP′, QQ′, CC′, DD′ যোগ কর। উহারা যেন BOB′-কে যথাক্রমে M, N, M′ এবং N′-এ ছেদ করে। এখন গ্রাফ কাগজে P, Q, B, Q′, P′, A′, C′, D′, B′, D, C. A আঁক; উহাদের নির্দেশাঙ্ক যথাক্রমে ($\frac{\pi}{6}$, OM), ($\frac{\pi}{3}$, ON), ($\frac{\pi}{2}$, OB′) প্রভৃতি। এইবার এই বিন্দুগুলি যোগ করিলে যে গ্রাফ রেখা পাইবে তাহাই ঐ সরল দোল গতির প্রকাশক গ্রাফ।

দশার বদলে সময়ের ব্যবহার করিলেও ঐ একই গ্রাফ রেখা পাইবে। উহাতে OA-কে পর্যায় কাল (T) ধরিয়া ক্ষুদ্র অংশগুলি চিহ্নিত কর $\frac{T}{12}, \frac{T}{6}, \frac{T}{4}, \frac{T}{3}, \frac{5T}{12},$

$\frac{T}{2}$, ... প্রভৃতি। তাহার পর একইভাবে এই সময়গুলির সহিত তৎ তৎ সরণ আঁকিয়া গ্রাফ চিহ্ন অঙ্কন কর।

ভর বিন্দু যখন B অতিক্রম করিতেছে তখন হইতে যদি সময় গণনা করা হয়, তবে $x = a \cos\theta = a \cos \omega t$। ইহাকে গ্রাফ চিত্রে প্রকাশ করিতে হইলে বৃত্তে A-র বদলে



চিত্র নং 8 : গ্রাফের সাহায্যে সরল দোল গতি নির্ণয়।

B হইতে আরম্ভ করিতে হয়। অর্থাৎ গ্রাফ চিত্রে OL-অক্ষ সরাইয়া B-তে লইতে হয় এবং সময় যথাক্রমে B-তে O, Q′-এ $\frac{\pi}{6}$, P′-এ $\frac{\pi}{3}$, A′-এ $\frac{\pi}{2}$, C′-এ $\frac{2\pi}{3}$,......প্রভৃতি। এই গ্রাফ 8নং চিত্রে দেখান হইয়াছে।

1·8. সরল দোল গতির শক্তি (Energy of S.H.M) : §1·4 অনুচ্ছেদে আলোচনা করা হইয়াছে যে, একটি সমবৃত্তীয় গতির দ্বারা সরল দোল গতি প্রকাশ করা যায়। যে কোন মুহূর্তে উৎপাদক বিন্দুর সহিত ঘূর্ণনশীল ব্যাসার্ধের ঐ সরল দোল গতির দিকে উপাংশ ও উহার স্পর্শক বেগ ও অভিকেন্দ্রিক ত্বরণের ঐ দিকে উপাংশ যথাক্রমে ঐ ভরবিন্দুর ঐ মুহূর্তে সরণ, বেগ ও ত্বরণ হইবে। সুতরাং চিত্র নং 5-এ উৎপাদক বিন্দুর স্পর্শক বেগ ωa, ত্বরণ $\omega^2 a$ এবং সরল দোলগতির ভরবিন্দুর সরণ, বেগ ও ত্বরণ যথাক্রমে $a \sin\theta$, $\omega a \sin\theta$ ও $-\omega^2 a \cos\theta$। ফলে O বিন্দু অতিক্রম করার সময় $\theta = 0$ এবং ভরবিন্দুর সরণ 0, বেগ ωa, ত্বরণ 0। আবার C বিন্দুতে পৌঁছাইবার সময় সরণ a, বেগ 0, ত্বরণ $-\omega^2 a$। তাহা হইলে, O-কে কেন্দ্র করিয়া ভরবিন্দু যখন D ও C-র মধ্যে সরল দোল গতিতে চলিতেছে, তখন D ও C-তে উহার গতি শক্তি নাই, কিন্তু স্থিতি শক্তি আছে এবং সর্বাধিক। আর, O-তে স্থিতি শক্তি নাই, গতি শক্তি আছে এবং সর্বাধিক। অন্য কোন অবস্থানে দুই প্রকার শক্তিই আছে। আদর্শ ক্ষেত্রে, যদি চলিবার সময় কোন ঘর্ষণ, বায়ু বা মাধ্যমের প্রতিরোধ প্রভৃতি শক্তি ক্ষয় (dissipation) হইবার সম্ভাবনা না থাকে, তবে ভরবিন্দুর শক্তি কখনও পুরাপুরি গতীয়, কখনও পুরাপুরি স্থিতীয় এবং অন্যান্য সময় মিশ্র ও মোট শক্তি সব সময়েই একই থাকে। আর বিস্তার সমস্ত দোলনে একই থাকে। যদি শক্তি

ক্ষয় হইবার কারণ ঘটে, তবে বিস্তার অল্প অল্প করিয়া কমিতে থাকে। এ সম্বন্ধে পরে বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে।

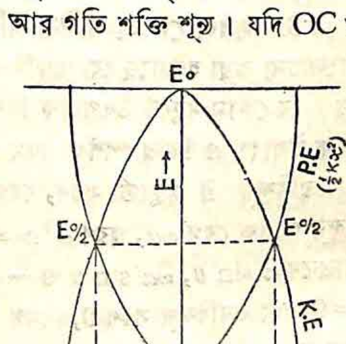
যদি সরল দোল গতির বিন্দুর ভর হয় m, তাহা হইলে যে কোন বিন্দুতে অবস্থানের মুহূর্তে (ধর, চিত্র নং 5, M বিন্দুতে) উহার সরণ হইবে x ($=a \sin \theta$)।

O-অভিমুখী বল হইবে $-\mathrm{K}x$ [সমীকরণ (1·3·1) দ্রষ্টব্য]।

যখন O বিন্দুতে অবস্থানের মুহূর্তে উহার বেগ ωa ; তখন উহার গতি শক্তি $\frac{1}{2}m\omega^2 a^2$। O বিন্দু হইতে C-অভিমুখে যাইতে $-\mathrm{K}x$ পরিমাণ বলের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হয়। এই কার্য করিবার উৎস ঐ গতি শক্তি। যতই উহা দূরে যায় ততই গতি শক্তি (তাহার সহিত বেগ) কমিতে থাকে, আর স্থিতি শক্তি বাড়িতে থাকে। O হইতে M পর্যন্ত দূরত্বকে অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অংশে (dx) ভাগ করিলে, অন্তরকলন গণিতের (Differential Calculus) ভাষায় dx দূরত্ব অতিক্রম করিতে কৃতকার্য হইবে $-\mathrm{K}x\,dx$ এবং সমাকলন গণিতের (Integral Calculus) ভাষায় x দূরত্ব অতিক্রম করিতে মোট কৃতকার্য হইবে

$$\int_0^x -\mathrm{K}x\,dx = -\tfrac{1}{2}\mathrm{K}x^2 \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (1·8·1)$$

ইহার অর্থ, M বিন্দুতে আসিতে ভর বিন্দুর গতি শক্তি $\frac{1}{2}\mathrm{K}x^2$ পরিমাণ কমিয়া গিয়াছে, আর উহার স্থিতি শক্তি (যাহা O বিন্দুতে ছিল শূন্য) বাড়িয়া $\frac{1}{2}\mathrm{K}x^2$ হইয়াছে। C বিন্দুতে অর্জিত স্থিতি শক্তি $\frac{1}{2}\mathrm{K}a^2$, আর গতি শক্তি শূন্য। যদি OC ও OD এই দুই দিকের বিভিন্ন বিন্দুতে সরণের সহিত গতি শক্তি ও স্থিতি শক্তির দুইটি গ্রাফ রেখা একই গ্রাফ কাগজে অঙ্কন করা যায়, তাহা হইলে দুইটি গ্রাফ রেখাই অধিবৃত্তাকার (Parabolic) হইবে, কিন্তু তাহারা পরস্পরের পরিপূরক হইবে। চিত্র নং 9-এ ইহা দেখান হইয়াছে। দুই অধিবৃত্ত বিপরীতমুখী। যে কোন বিন্দুতে গতি শক্তি (Kinetic Energy) ও স্থিতি শক্তি (Potential Energy) গ্রাফ হইতে বাহির করিয়া যোগ করিলে যোগফল হইবে E_o বা সর্বাধিক গতি শক্তি বা সর্বাধিক স্থিতি শক্তি $\frac{1}{2}\mathrm{K}a^2$। §1·3 অনুচ্ছেদে আলোচনা করা হইয়াছে যে, $\frac{\mathrm{K}}{m} = \omega^2$ [এখানে ω হইতেছে উৎপাদক বিন্দুর কৌণিক গতি]।



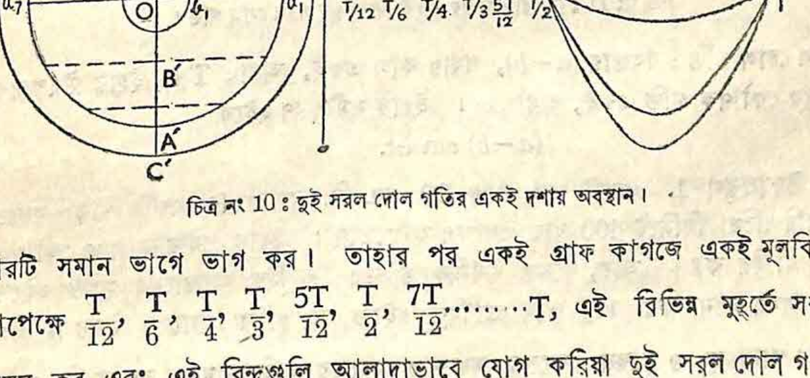
চিত্র নং 9 : দুই বিপরীতমুখী অধিবৃত্ত।

সুতরাং $\mathrm{K} = m\omega^2$ এবং $\mathrm{E}_o = \frac{1}{2}m\omega^2 a^2$ $\qquad \cdots \qquad \cdots \qquad$ (1·8·2)

1·9. একই দিকে দুইটি সরল দোল গতির উপরিপত্তি (Superposition of two Simple Harmonic Motions in the same Direction) : তোমরা জান, যদি কোন বস্তুর একই সঙ্গে দুইটি গতি থাকে, তাহা হইলে ঐ দুই গতির লব্ধি (resultant) গতিই হইবে উহার গতি। সরল দোল গতিও একটি গতি। যদি কোন ভর বিন্দুর একই সঙ্গে দুইটি সরল দোল গতি থাকে, তবে উহার প্রকৃত গতি হইবে এই দুই সরল দোল গতির লব্ধি গতি। যে কোন মুহূর্তে দুই সরল দোল গতির জন্য দুই সরণ আলাদাভাবে বাহির করিয়া তাহাদের লব্ধি সরণ বাহির করিলেই ঐ মুহূর্তে ভর বিন্দুটির মিলিত সরণ পাওয়া যাইবে। গ্রাফের সাহায্যে এই লব্ধি সহজেই বাহির করা যায়। গণিতের সাহায্যেও উহা করা যায়। গ্রাফ-পদ্ধতিই এখন আলোচনা করা হইতেছে। ধর, একটি ভর বিন্দুর একই দিকে একই সঙ্গে দুইটি সরল দোল গতি আছে, উভয়ের একই পর্যায় কাল (T) ; বিস্তার যথাক্রমে a ও b। §1·7 অনুচ্ছেদে চিত্র নং 7-এর সাহায্যে এই গতি কিভাবে গ্রাফ রেখা দ্বারা বিশ্লেষণ করা যায় তাহা তোমরা দেখিয়াছ।

(i) **মনে কর, দুই সরল দোল গতি একই দশায় (in same phase) আছে।**

ধর, একটি ভরবিন্দুর একই সঙ্গে দুইটি সরল দোল গতি আছে, বিস্তার a ও b [চিত্র নং 10]। O-কে কেন্দ্র করিয়া a ও b ব্যাসার্ধের দুইটি বৃত্ত অঙ্কন কর। গতির দিক্ সরলরেখা বরাবর ABOB′A′। §1·7 অনুচ্ছেদের পদ্ধতি অনুযায়ী দুই বৃত্তকেই



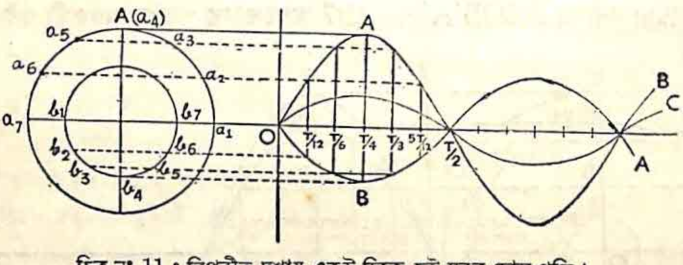
চিত্র নং 10 : দুই সরল দোল গতির একই দশায় অবস্থান।

বারটি সমান ভাগে ভাগ কর। তাহার পর একই গ্রাফ কাগজে একই মূলবিন্দু সাপেক্ষে $\frac{T}{12}, \frac{T}{6}, \frac{T}{4}, \frac{T}{3}, \frac{5T}{12}, \frac{T}{2}, \frac{7T}{12}$........T, এই বিভিন্ন মুহূর্তে সরণ অঙ্কন কর এবং এই বিন্দুগুলি আলাদাভাবে যোগ করিয়া দুই সরল দোল গতি গ্রাফ সাহায্যে প্রকাশ কর। এইবার প্রতি মুহূর্তের দুই সরণ যোগ দিয়া মিলিত সরণ

আঁক এবং শীর্ষবিন্দুগুলি যোগ কর। এখন যে রেখা পাইলে তাহাই হইল ঐ দুই সরল দোল গতির লব্ধি গতি। ইহা আর একটি সরল দোল গতি ; ইহার বিস্তার $(a+b)$, আর পর্যায় কাল একই, অর্থাৎ T। ইহার সমীকরণ হইবে $(a+b) \sin \omega t$। ইহার উৎপাদক বিন্দুর কৌণিক বেগ একই, অর্থাৎ ω।

(ii) **মনে কর, একই দিকে দুই সরল দোল গতি বিপরীত দশায় (in opposite phase) আছে।**

প্রথমে O-কে কেন্দ্র করিয়া a ও b ব্যাসার্ধের দুইটি বৃত্ত আঁক এবং আগের মত প্রতি বৃত্তকে বারটি সমান অংশে বিভক্ত কর। এখানে দুই সরল দোল গতি একই দিকে কিন্তু বিপরীত দশায় আছে। সুতরাং প্রথমের উৎপাদক বিন্দু যখন a_1-এ, দ্বিতীয়ের উৎপাদক বিন্দু তখন b_1-এ [চিত্র নং 11]। তাহার পর প্রতি $\frac{T}{12}$ সময় পর পর উহারা যথাক্রমে $a_2, a_3, a_4 \cdots$ এবং $b_2, b_3, b_4 \cdots$ প্রভৃতি বিন্দুতে আছে। এইবার পূর্ব পদ্ধতি অনুসারে $\frac{T}{12}, \frac{T}{6} \cdots$ মুহূর্তে দুই সরণ আঁক। প্রত্যেক মুহূর্তে দুই সরণ বিপরীতমুখী। সুতরাং প্রতি মুহূর্তে বড়টি হইতে ছোটটি বিয়োগ দিয়া লব্ধি সরণ আঁক। তাহার পর শীর্ষবিন্দুগুলি সংযুক্ত করিয়া লব্ধি গ্রাফ রেখা আঁক (C)। এই গ্রাফ রেখা ভর বিন্দুর লব্ধি গতি প্রকাশ করে। ইহা আর একটি



চিত্র নং 11 : বিপরীত দশায় একই দিকে দুই সরল দোল গতি।

সরল দোল গতি ; বিস্তার $(a-b)$, পর্যায় কাল একই, অর্থাৎ T। ইহার উৎপাদক বিন্দুর কৌণিক গতি একই, অর্থাৎ ω। ইহার সমীকরণ হইবে

$$(a-b) \sin \omega t.$$

উদাহরণ 1. একটি ভর বিন্দু 20 সে. মি. ব্যাসার্ধের একটি খাড়া বৃত্তের পরিধি ধরিয়া মিনিটে 400 বার প্রদক্ষিণ করিতেছে। উহার পর্যায় কাল ও কৌণিক বেগ বাহির কর। আর, বৃত্তের শীর্ষবিন্দুতে ভর বিন্দুটির অবস্থানের মুহূর্ত হইতে যদি সময় গণনা করা হয়, তবে ভরবিন্দু হইতে অনুভূমিক ব্যাসের উপর নিক্ষিপ্ত লম্বের পাদবিন্দু ও বৃত্তের কেন্দ্রের মধ্যকার দূরত্বের সহিত সময়ের সম্পর্ক কি তাহা বাহির কর।

একবার প্রদক্ষিণ করিতে 2π রেডিয়ান কোণ ঘুরিতে হয়।

সুতরাং কৌণিক বেগ $\omega=\frac{400\times 2\pi}{60}=\frac{40}{3}\pi$ রেডিয়ান/সেকেণ্ড।

$\therefore \quad T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi\times 3}{40\pi}=\frac{3}{20}$ সেকেণ্ড $=0{\cdot}15$ সেকেণ্ড। আর বিস্তার $=20$ সে. মি.।

যদি লম্বের পাদবিন্দুর কেন্দ্র হইতে দূরত্ব হয় x সে. মি., তবে—

$$x=20\sin\omega t=20\sin\frac{40}{3}\pi t.$$

2. সরল দোল গতির একটি ভরবিন্দুর সময়—সরণ সমীকরণ, $x=3\sin 10t$। উহার বিস্তার, কম্পাঙ্ক এবং ভরবিন্দু যখন দোল গতির কেন্দ্রবিন্দু অতিক্রম করে তখনকার বেগ বাহির কর।

$$x=3\sin 10t$$
$$=a\sin\omega t\,;$$

$\therefore$ বিস্তার $=3$ একক দৈর্ঘ্য।

$\omega=10$ রেডিয়ান/সেকেণ্ড ;

$\therefore \quad T=\frac{2\pi}{10}$ সেকেণ্ড $=\frac{\pi}{5}=\frac{3{\cdot}14}{5}$ সেকেণ্ড ;

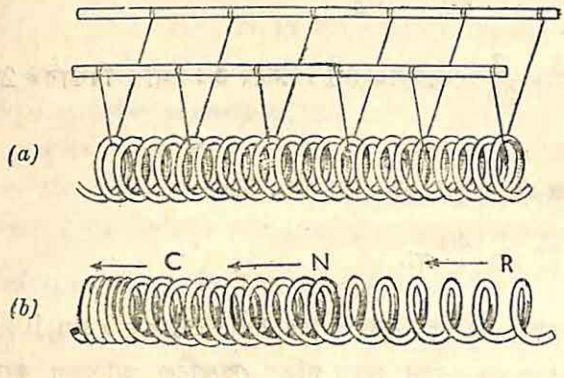
$\therefore$ কম্পাঙ্ক $n=\frac{1}{T}=\frac{5}{3{\cdot}14}=1{\cdot}592$/সেকেণ্ড।

যখন ভরবিন্দু কেন্দ্র অতিক্রম করে, তখনকার বেগ উৎপাদক বিন্দুর স্পর্শক বেগের সমান। যদি ঐ বেগ হয় v, তবে—

$v=\omega a=10\times 3=30$ একক দৈর্ঘ্য/সেকেণ্ড।

1·10. **কম্পনের প্রকারভেদ ঃ** যখন কোন ভরবিন্দু বা কোন বস্তুর কম্পন হয় তখন সেই কম্পন চারিপার্শ্বের মাধ্যমে বা পার্শ্ববর্তী কোন মাধ্যমে ছড়াইয়া পড়ে। ইহার বহু দৃষ্টান্ত তোমাদের চোখে পড়িয়াছে। একটি পুকুরের শান্ত জলে ঢিল পড়িলে যেখানে ঢিল পড়িল সেখানকার জলে কম্পন সৃষ্টি হয়। আর এই কম্পন চারিদিকে সরলরেখা বরাবর ছড়াইয়া পড়ে। কাছে যদি একটি কর্ক ভাসিতে থাকে, তবে সেই কর্কও কম্পিত হয় এবং একবার উপরে উঠে তাহার পরেই নীচে নামে।

উহা খাড়া রেখা বরাবর দুলিতে থাকে। কিন্তু এই কম্পন **কম্পনের দিকের লম্বদিকে**—অর্থাৎ অনুভূমিক রেখা বরাবর ছড়াইয়া পড়ে।



চিত্র নং 12 : কম্পনের প্রকারভেদ।

ধর, টেবিলের উপর একটি 6-7 ফুট লম্বা স্প্রিং দুইটি অনুভূমিক দণ্ড হইতে সুতা দিয়া বাঁধিয়া ঝুলান আছে [চিত্র নং 12(*a*)]। তাহার পর এক প্রান্তে একটি হাতুড়ি দিয়া হঠাৎ আঘাত করা হইল। ফলে শেষের পাকটি ধাক্কা খাইয়া পরের পাকের কাছে চলিয়া আসিবে, কিন্তু স্থিতিস্থাপকতার জন্ত কিছুটা আসিয়া থামিবে এবং পূর্বের স্বাভাবিক অবস্থানকে কেন্দ্র করিয়া একবার ডানদিকে আর একবার বামদিকে কাঁপিতে থাকিবে। কিন্তু এই কম্পন ক্রমান্বয়ে পরের পাকগুলিতে ছড়াইয়া পড়িবে। স্পষ্ট দেখা যাইবে, এই সংকোচন ও তাহার পরে তনুভবন স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্য বরাবর একটি নির্দিষ্ট বেগে ছুটিয়া চলিতেছে। লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে, এখানে কম্পনের দিক্ ও কম্পনের অবস্থার ছুটিয়া চলিবার দিক্ একই। এক্ষেত্রে দুইই অনুভূমিক দিক্।

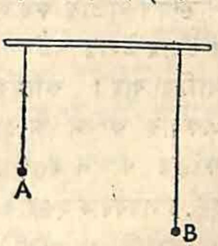
প্রথম ক্ষেত্রে, জলের কম্পনের দিক্ ও কম্পনের অবস্থার চলিবার দিক্ পরস্পর লম্ব। এই কম্পনকে বলে **অনুপ্রস্থ কম্পন** (Transverse Vibration)। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, স্প্রিংয়ের কম্পনের দিক্ ও কম্পনের অবস্থার চলিবার দিক্ একই। এই কম্পনকে বলে **অনুদৈর্ঘ্য কম্পন** (Longitudinal Vibration)।

পৃথিবীতে বহু ঘটনাই এই কম্পনের জন্য ঘটে। এই কম্পন কোনটা অনুপ্রস্থ, কোনটা অনুদৈর্ঘ্য। আলোক-রশ্মি, তারের বাদ্যযন্ত্রের কম্পন, জলের তরঙ্গ—এই সকল **অনুপ্রস্থ কম্পন**। আবার বায়ুর কম্পন, ঘণ্টার কম্পন—এইসব **অনুদৈর্ঘ্য কম্পন**।

1·11. মুক্ত ও কষ্টকৃত কম্পন (Free and Forced Vibrations): যে কোন বস্তুকে যদি হঠাৎ আঘাত করা যায় তবে উহার কম্পন হয়। এই কম্পনের একটি কম্পাঙ্ক আছে। এই কম্পাঙ্ক বস্তুর ভর, আকৃতি ও স্থিতিস্থাপকতার উপর নির্ভরশীল। এই কম্পন বস্তুটির **মুক্ত কম্পন**। এই কম্পনের কম্পাঙ্ক ও পর্যায় কাল বস্তুটির **স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক** ও **পর্যায় কাল**। ভিন্ন ভিন্ন বস্তুর পর্যায় কাল ভিন্ন ভিন্ন। আকস্মিক আঘাত পাইলে যে কোন বস্তু তাহার স্বাভাবিক পর্যায় কাল অনুসারে কম্পন করে। ইহাই সাধারণ নিয়ম।

এখন কোন বস্তুকে অন্যান্য বস্তু হইতে একেবারে বিচ্ছিন্ন করিয়া আঘাত দিয়া কম্পিত করা যায় না। ধর, একটি সরল দোলক। উহাকে একটি দৃঢ় অবলম্বন হইতে ঝুলাইয়া আন্দোলিত করিতে হয়। যখন দোলক মূল অবস্থান হইতে একদিকে ঝুলাইয়া দেওয়া হয়, তখন উহার অবলম্বনের উপর সেই দিকে বল প্রয়োগ করে। পরে উল্টাদিকে যাইবার সময় অবলম্বনের উপর উল্টাদিকে বল প্রয়োগ করে। সুতরাং দোলক উহার অবলম্বন বিন্দুর (point of support) উপর একটি পর্যাবৃত্ত বল (periodic force) প্রয়োগ করে। যদি অবলম্বনটি আদর্শ দৃঢ় হয়, তবে এই বল প্রয়োগের কোন প্রভাব উহার উপর পড়ে না। কিন্তু উহার স্থিতিস্থাপকতা যদি এমন হয় যে, ঐ বল প্রয়োগের ফলে উহাতে কিছু বিকৃতি হয়, তবে উহার উপর ঐ কম্পনের প্রভাব পড়ে। ঐ প্রভাবের ফলে অবলম্বনও কম্পিত হইতে থাকে।

মনে কর, একটি মোটা রবারের নল অনুভূমিকভাবে খাটান হইয়াছে এবং উহা হইতে পাশাপাশি দুইটি সরল দোলক A, B ঝুলান আছে (চিত্র নং 13)। উহাদের দৈর্ঘ্য এবং পর্যায় কাল আলাদা। এখন যদি A-কে আঘাত করিয়া কম্পিত করা যায়, তবে A উহার নিজস্ব পর্যায় কাল অনুযায়ী দুলিতে থাকিবে। **অবলম্বনের উপর ঐ পর্যায় কালের একটি পর্যাবৃত্ত বল কার্যকর হইবে। অবলম্বন দৃঢ় নয়, রবারের বলিয়া উহা ঐ পর্যাবৃত্ত বল দ্বারা প্রভাবিত হইবে এবং উহার মাধ্যমে এই প্রভাব দোলক B-র উপরও পড়িবে, ফলে দোলক B এই বল পাইবে**। তাহার পর দেখা যাইবে অল্প সময় দোলক B নিজস্ব পর্যায় কাল অনুযায়ী দুলিতেছে; কিছুক্ষণ এইরূপ এলোমেলোভাবে দুলিবার পর B-র কম্পন কমিয়া আসিবে। তাহার পর দুই দোলক একই পর্যায় কাল সহ দুলিতে থাকিবে। উহাদের মধ্যে একটি নির্দিষ্ট দশান্তর phase difference) বলবৎ হইবে। তবে পাশে B না থাকিলে A-র দোলন যতক্ষণ চলিত B থাকাতে ততক্ষণ চলিবে না। উভয়ের বিস্তার কমিতে থাকিবে এবং কিছুক্ষণ পরে উভয়েই থামিয়া যাইবে। এই দুই দোলকের যুগ্ম দোলনকে বলে **সংযোজিত দোলন** (coupled vibration)। দোলক A-র দোলনে উহার বিস্তার ও পর্যায় কাল অনুযায়ী শক্তি আবশ্যক। এই শক্তি প্রথম আঘাত হইতে A পাইয়াছে। যদি A-কে একেবারে অন্যান্য বস্তু হইতে বিচ্ছিন্ন রাখা যাইত, তবে এই শক্তি অটুট থাকিত এবং উহা ঐ বিস্তারে নিজস্ব পর্যায় কাল সহ চিরকাল দুলিত। কিন্তু দোলক A দোলক B-র সহিত যুক্ত হওয়াতে A-র শক্তি B-কে প্রভাবিত করিবে। শক্তি পাওয়া মাত্র B তাহার নিজস্ব পর্যায় কাল সহ দুলিতে থাকিবে। কিন্তু এই শক্তি A হইতে B-তে পর্যাবৃত্ত বলের মাধ্যমে আসিতে থাকায় এবং B-র নিজস্ব কোন শক্তি না থাকায়, ক্রমেই A-র পর্যায় কাল সহ দুলিতে বাধ্য হইবে এবং সঙ্গে সঙ্গে B ও A-কে প্রভাবিত করিবার



চিত্র নং 13 : দোলন।

চেষ্টা করিবে। B-র দোলনের কোন নিজস্ব শক্তি নাই। A হইতে প্রাপ্ত শক্তিই B-র শক্তির উৎস। ফলে A ও B-র মধ্যে কিছুক্ষণ শক্তির আদান-প্রদান চলে। A প্রথম আঘাতে যে শক্তি পাইয়াছিল তাহা সমস্ত শক্তির উৎস। সুতরাং কিছুক্ষণ পরে উভয়ের দোলনই থামিয়া যাইবে। কিন্তু যদি A-র বব্ B-র তুলনায় অনেক ভারী হয় তবে চিত্র অন্য রকম দাঁড়ায়। বেশী ভরের জন্য A-র দোলনের শক্তি খুব বেশী। তাহা হইতে সামান্য অংশ পাইয়াই B দুলিতে থাকে। কয়েকবার নিজস্ব পর্যায় কাল সহ দুলিবার পর A-র পর্যাবৃত্ত বলের প্রভাবে কিছুক্ষণ এলোমেলো-ভাবে দুলিয়া B দোলক A দোলকের পর্যায় কাল সহ দুলিতে থাকে। B দোলকের এই দোলন বা কম্পনকে বলে **কষ্টকৃত কম্পন** (forced vibration)।

কষ্টকৃত কম্পনের দৃষ্টান্ত বহু দেওয়া যায়। একটি সুর শলাকা (tuning fork) বাজাইয়া হাতে ধরিয়া রাখিলে দেখা যাইবে উহার শব্দ একটু দূর হইতে আর শোনা যায় না, কিন্তু উহার কম্পন বহুক্ষণ স্থায়ী হয়। এখন সুর শলাকাটি বাজাইয়া উহার হাতলটি একটি ফাঁপা কাঠের বাক্সের উপর শক্ত করিয়া ঠেকাইয়া রাখিলে দেখা যাইবে উহার শব্দ খুব জোর হইয়াছে এবং এই শব্দ দূর হইতে স্পষ্ট শোনা যাইতেছে। কিন্তু উহার কম্পন অনেক কম সময় স্থায়ী হয়। ইহার কারণ, সুর শলাকার সংস্পর্শে থাকায় কাঠের কণাগুলি এবং ভিতরের আবদ্ধ বায়ুকণাগুলির কষ্টকৃত কম্পন হয় সুর শলাকার কম্পাঙ্ক অনুসারে। এতগুলি কণার এই কম্পনের ফলে প্রবল শব্দ শোনা যায়। কিন্তু সকলের শক্তির উৎস ঐ সুর শলাকা একবার আঘাতে যে শক্তি পাইয়াছিল, মাত্র তাহা। সুর শলাকা সাধারণতঃ এমনভাবে তৈয়ারী হয় যে, উহার শক্তিক্ষয় অত্যন্ত কম হারে হয়। কিন্তু এতগুলি ভরকণার কম্পনের শক্তি উহা হইতে যাওয়ায় উহার যতক্ষণ কম্পন হওয়া উচিত ততক্ষণ না হইয়া অনেক আগেই থামিয়া যায়। কাঠের কণা এবং বায়ুকণাগুলি তাহাদের নিজস্ব কম্পাঙ্কে কম্পন হইলে একবার কম্পন আরম্ভ করিলে অনেকক্ষণ ধরিয়া কম্পন করিত। কিন্তু তাহাদের কষ্টকৃত কম্পন হওয়ায় এবং এই কম্পনের শক্তি অনবরত সুর শলাকার শক্তি উৎস হইতে সরবরাহ হওয়ায় সুর শলাকার সহিত বাক্স ও আবদ্ধ বায়ুর কম্পন একসঙ্গে তাড়াতাড়ি বন্ধ হইয়া যায়।

অনুনাদ (Resonance) ঃ কোন বস্তুর কষ্টকৃত কম্পনের পর্যায় কাল যদি উহার স্বাভাবিক পর্যায় কালের সমান হয়, তবে ঐ কম্পন আর কষ্টকৃত কম্পন হয় না, উহাকে বলে **অনুনাদ**। চিত্র নং 13-তে যদি দোলকদ্বয় (A ও B) একই দৈর্ঘ্যের—অর্থাৎ একই পর্যায় কালের হইত, তবে A-কে আঘাত করিয়া কম্পনশীল করিলে অল্পক্ষণ পরে B-ও বেশ অধিক বিস্তার ও একই পর্যায় কাল সহ কম্পন করিত এবং উভয়ের কম্পন বহুক্ষণ স্থায়ী হইত।

অনুনাদের বহু দৃষ্টান্ত কেবল শব্দবিত্থায় নয়, আলোকবিত্থা, রেডিওবিত্থা এবং পদার্থবিজ্ঞানের অন্যান্য শাখায় পাওয়া যায়। একটি সেতারে পাশাপাশি দুইটি তার

যদি এমনভাবে বাঁধা হয় যে উভয়ের স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক একই, তবে একটি তারে আঘাত করিয়া বাজাইলে একটু পরে অপর তারটিও একই কম্পাঙ্কে বাজিবে। তোমরা যে রেডিও শোন, তাহাও অনুনাদের একটি দৃষ্টান্ত। রেডিও স্টেশন হইতে একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের **তড়িচ্চুম্বকীয়** (Electromagnetic) তরঙ্গ চতুর্দিকে ছড়াইয়া দেওয়া হয়। রেডিও যন্ত্রে একটি তড়িৎ বর্তনীতে **রোধ** (Resistance) ছাড়াও **আবেশ** (Induction) ও **ধারকত্ব** (Capacity) এমনভাবে মিশাইয়া দেওয়া হয় যে উহার তড়িচ্চুম্বকীয় দোলনের ক্ষমতা হয়। এই দোলনের কম্পাঙ্ক আবেশ ও ধারকত্বের পারস্পরিক অনুপাতের উপর নির্ভর করে। রেডিওর কাঁটা ঘুরাইয়া ধারকত্ব বদলান হয়। কাঁটা ঘুরাইয়া যখনই ঐ **বর্তনীর** (Circuit) স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক রেডিও-স্টেশনের নিক্ষিপ্ত কম্পাঙ্কের সমান হয় তখনই অনুনাদ হয় এবং ঐ তরঙ্গ ধরা পড়ে। তাহার পর কয়েকটি প্রক্রিয়া দ্বারা উহাকে বিশুদ্ধ করিয়া কেবল শব্দ-তরঙ্গের অংশটুকু রাখিয়া একটি স্পীকারের সহিত সংযুক্ত করিলেই রেডিও অনুষ্ঠানের গান, কথা ইত্যাদি পরিষ্কার শোনা যায়।

1·12. অবমন্দিত দোলন (Damped Oscillation) : সরল দোল গতি সম্বন্ধে পূর্বেই আলোচনা করা হইয়াছে যে, দোলনশীল বস্তুর উপর একটিমাত্র বল কার্য করে। এই বল সব সময়ই মূলবিন্দুর অভিমুখী এবং মূলবিন্দু হইতে দূরত্বের সহিত সমানুপাতিক। বস্তু যখন মূলবিন্দুর ডানদিকে থাকে তখন এই বল বামদিক অভিমুখী। ডানদিকে কোন বিন্দুকে বস্তু অতিক্রম করিয়া ডানদিকে যায় আবার তাহার পরেই সেই বিন্দুকে ডানদিক হইতে বামদিক অভিমুখী দিকে অতিক্রম করে। কিন্তু উভয় ক্ষেত্রেই বস্তুর উপর কার্যকরী বল সব সময়ই বামদিক অভিমুখী (এই ক্ষেত্রে)। তাহার ফলে এই গতিতে মোট শক্তি একই থাকে এবং এই দোলন গতি অনন্তকাল ধরিয়া চলিবার কথা। কিন্তু ইহা একটি আদর্শ ক্ষেত্রে (ideal case) প্রযোজ্য। ইহা সম্ভব হইত যদি বস্তুকে অন্যান্য বস্তু হইতে একেবারে বিচ্ছিন্ন করিয়া রাখা যাইত। কিন্তু বাস্তবে তাহা মোটেই সম্ভব নয়। বস্তুকে এমন কোন অবলম্বনের সহিত স্থিতিস্থাপকভাবে সংযুক্ত করিয়া রাখিতে হয় যাহাতে উহা দূরে চলিয়া না যাইতে পারে। সুতরাং এই গতিতে অল্প হউক আর বেশী হউক, ঘর্ষণ বল অতিক্রম করিতে হইবেই। তাহার পর বস্তুটির গতি বায়ুর মধ্য দিয়া হয় এবং এই বায়ুর বাধা তাহাকে অতিক্রম করিতে হয়। সুতরাং এই গতির বিরুদ্ধে সব সময়ই একটি বাধা কার্য করে, আর এই বাধার বল বস্তুর বেগের সহিত সমানুপাতিক। এইরূপ বাধাদানকে বলে **অবমন্দন** (Damping), আর এইরূপ কম্পনকে বলে **অবমন্দিত কম্পন** (Damped Vibration) এবং এই বাধাকে বলে **অবমন্দন বল** (Damping Force)।

অবমন্দন বলের বৈশিষ্ট্য এই যে, ইহা সব সময়েই বেগের বিপরীতমুখী। বস্তু যখন মূলবিন্দুর ডানদিকে থাকে এবং ডানদিকে যায় তখন এই বল বামদিক অভিমুখী।

আবার যখন বস্তু ডানদিকে থাকে, কিন্তু বামদিকে যায় তখন এই বল ডানদিক অভিমুখী। আর ইহার মান বেগের সহিত সমানুপাতিক। সুতরাং যদি বেগ হয় v তবে অবমন্দন বল হইবে $-sv$ (এখানে s একটি ধ্রুবক)। সুতরাং অবমন্দিত সরল দোল গতির সমীকরণ হইবে $mf+sv+kx=0$ ... ... (1·12·1)
অন্তরকলন গণিতের ভাষায়,

$$m\ddot{x}+s\dot{x}+kx=0 \quad \cdots \quad \cdots \quad (1·12·2)$$

এই গতিতে বাধার বিরুদ্ধে চলিতে যে কার্য কৃত শক্তি ব্যয় হয়, তাহা আর ফেরত পাওয়া যায় না। উহা শক্তির ক্ষয়। ফলে দোলনের বিস্তার ক্রমে কমিতে থাকে, কারণ যে শক্তি ক্ষয় হয় তাহা আর পূরণ হয় না। একটি ঘণ্টায় ঘা মারিয়া ছাড়িয়া দিলে কিছুক্ষণ পরে ঘণ্টার কম্পন ও শব্দ কিছুই থাকে না। তাহার কারণ ইহাই। ঘণ্টার কম্পন বায়ুর বিরুদ্ধে হয় এবং সেইজন্যই অবমন্দন এবং কিছুক্ষণ পরে শব্দের সমাপ্তি। একটি ঘড়ির দোলক দোলাইয়া দিলে কিছুক্ষণ বেশ বড় বিস্তার সহ দুলিতে থাকে। কিন্তু ঘর্ষণ ও বায়ুর বাধার জন্য অবমন্দনের ফলে কিছুক্ষণ পরে দোলকের দোলন বন্ধ হইয়া যায়। অবমন্দনের জন্য যে শক্তি ক্ষয় হয় তাহা পূরণের জন্য ঘড়িতে চাবি দ্বারা একটি স্প্রিংকে পাকাইবার ব্যবস্থা থাকে। ইহার ফলে স্প্রিংয়ে স্থিতি শক্তি সঞ্চিত করা হয়। এই স্প্রিং অনবরত স্থিতি শক্তি ব্যয় করিয়া দোলকের শক্তিক্ষয় যাহা হয় তাহা পূরণ করে এবং নিজে ঢিলা হইয়া যায়। আবার যদি অবমন্দন নির্দিষ্ট পরিমাণ অপেক্ষা বেশী হয় তবে দোলনই আর সম্ভব হয় না। উহাকে দোলাইয়া ছাড়িয়া দিলে উহা সোজা মূল অবস্থানে আসিয়া স্থির হইয়া থাকে।

প্রশ্নমালা

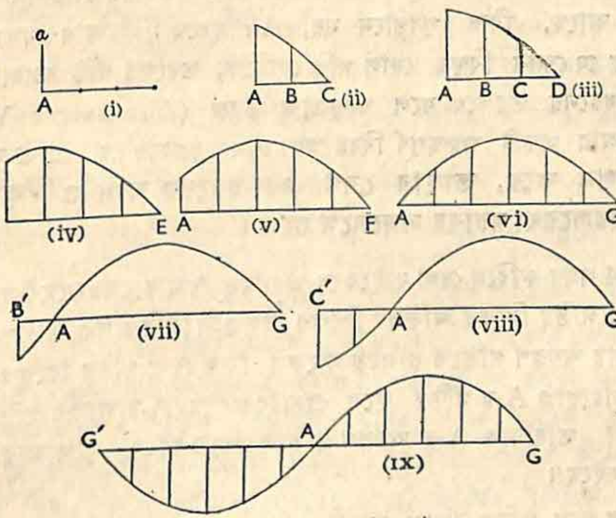
1. দোলন কাহাকে বলে বুঝাইয়া লেখ। দোলনের সংজ্ঞা দাও। পর্যাবৃত্ত এবং পর্যায় কাল দৃষ্টান্ত দ্বারা বোঝাও।
2. একটি সরল দোলকের গতি যে পর্যাবৃত্ত তাহা চিত্র দ্বারা প্রকাশ কর। পর্যাবৃত্তের কয়েকটি সরল উদাহরণ দাও।
3. সমবৃত্তীয় গতি কাহাকে বলে? এই গতিতত্ত্ব দ্বারা সরল দোলকের গতি কিভাবে প্রকাশ করা যায়?
4. সমবৃত্তীয় গতি দ্বারা একটি দোলনের সরণ, বিস্তার, পর্যায় কাল ও কম্পাঙ্কের প্রকাশ কিভাবে সম্ভব, তাহার বিবরণ দাও।
5. দশা কাহাকে বলে? পর্যায় কালভুক্ত একটি বিন্দুর দশা কি কি ভাবে প্রকাশ করা যায়, তাহা চিত্রসহ বিস্তারিতভাবে লেখ।
6. গ্রাফের সাহায্যে সরল দোল গতি কিভাবে প্রকাশ করা যায়?
7. একটি সরল দোলনের গতি এবং স্থিতি শক্তি বলিতে কি বোঝায়? প্রমাণ কর এই দোলনকালে শক্তির অবিনাশিতা তত্ত্ব প্রযোজ্য হয়।
8. একই সরলরেখা বরাবর দুইটি দোল গতির উপরিপাতি বাহির কর।
9. অনুভূমিক ও অনুপ্রস্থ কম্পন কাহাকে বলে? দুইটি উদাহরণ দাও।
10. মুক্ত ও কষ্টকৃত কম্পন উদাহরণ দ্বারা বিবৃত কর। অনুনাদ কাহাকে বলে?
1. একটি কম্পনের অবমন্দন হইলে সেই কম্পনের প্রতিকৃতি কিরূপ হইবে, তাহার রেখাচিত্র দাও।

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

তরঙ্গ (Wave)

2.1. তরঙ্গ ও ইহার-উদ্ভব ঃ যদি কোন ভর বিন্দু তাহার স্বাভাবিক অবস্থানে এমনভাবে সংবদ্ধ থাকে যে উহাকে বলপূর্বক ঐ স্থান হইতে সরাইলেই উহা স্বাভাবিক অবস্থানে ফিরিয়া আসিবার জন্ম সচেষ্ট হয় এবং ঐরূপ ভর বিন্দুকে যদি হঠাৎ আঘাত করা হয়, তবে উহা ঐ মূলবিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া পর্যাবৃত্ত কম্পন করিতে থাকে। ইহা পূর্বে বিস্তারিতভাবে আলোচনা করা হইয়াছে।

এখন এই ভর বিন্দু বিচ্ছিন্ন নয়, ইহা কোন মাধ্যমের অংশ এবং ঐ মাধ্যমের অন্যান্ত ভরকণার সহিত স্থিতিস্থাপক সূত্র দ্বারা সংযুক্ত। ঐ বিন্দুর গতির ফলে পাশের ভর বিন্দু **একসঙ্গে না চলিয়া** অল্পক্ষণ পরে একই গতিতে চলিতে বাধ্য হয়। দ্বিতীয় বিন্দুর গতির প্রভাবে তাহার পাশের তৃতীয় বিন্দুও সামান্ত পরে একই ধরনের গতিতে চলে। এইভাবে এই গতি মাধ্যমের বিভিন্ন স্থানে ছড়াইয়া পড়ে (চিত্র নং 14)।

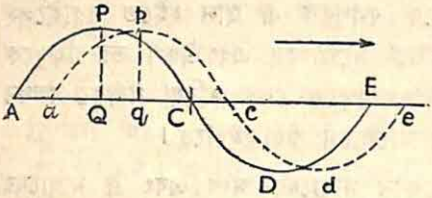


চিত্র নং 14 ঃ তরঙ্গ ও ইহার উৎস।

চিত্র নং 14(i)-তে A বিন্দু আঘাতের ফলে a বিন্দুতে আসিয়াছে। ইহার প্রভাবে পাশের বিন্দু **একটু পরে** অনুরূপ গতিতে চলিতে লাগিয়াছে। ফলে 14 (ii)-এ মাধ্যমের মধ্যে A-র গতির প্রভাব C পর্যন্ত পৌছিয়াছে। এইভাবে তরঙ্গের উদ্ভব হইয়াছে। ক্রমে ক্রমে ইহার প্রভাব ছড়াইয়া পড়িতেছে, কিন্তু কোন বিন্দুই স্থান ত্যাগ করিতেছে

না, কেবল মূলবিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া কম্পন করিতেছে, তবে সকলে একই সময়ে কম্পনের একই দশায় থাকে না। পর পর কম্পনশীল বিন্দুগুলির দশার (phase) ধারাবাহিকভাবে পরিবর্তন হয়। যে কোনও দুই বিন্দুর মধ্যে দশা পার্থক্য (phase difference) একই থাকে এবং এই পার্থক্য মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

যে কোন এক মুহূর্তে ভিন্ন ভিন্ন বিন্দুর সরণ চিত্র নং 14-তে দেখান হইয়াছে। ইহাই তরঙ্গের রেখাচিত্র। চিত্র নং 14-এর (i) হইতে (ix) পর্যন্ত লক্ষ্য করিলেই দেখা যাইবে তরঙ্গ চলমান। চিত্র নং 15-তে এই চলমান তরঙ্গ দেখান হইয়াছে। কোন এক মুহূর্তে A হইতে E পর্যন্ত ভিন্ন ভিন্ন বিন্দুর সরণ (ধনাত্মক ও ঋণাত্মক) দেখান হইয়াছে। এই তরঙ্গ তীর চিহ্নিত দিকে চলমান এবং কিছুক্ষণ পরে ভিন্ন ভিন্ন বিন্দুর দশা এবং সরণ পরিবর্তিত হইয়া যাহা হইল তাহা ফুটকি রেখা দ্বারা দেখান হইয়াছে। এখন A-র দশা a-তে এবং Q-র দশা q-তে ; Q-র সরণ PQ আর নাই, কমিয়া গিয়াছে। ঐ সরণ এখন q-তে হইয়াছে। A-র এখনকার সরণ ঋণাত্মক। তরঙ্গ **গোটাগুটি** ঐ সময়ে Aa দূরত্ব সরিয়া গিয়াছে। তরঙ্গের যে কোন বিন্দুর দশা অপরিবর্তিত আছে, কিন্তু পূর্বস্থানে নয়, Aa দূরত্বে। আর লক্ষ্য করিবার বিষয়, তরঙ্গের যে কোন বিন্দুর দোল গতি যেদিকে, তরঙ্গের গতি তাহার অভিলম্ব দিকে। এই ধরনের তরঙ্গকে বলে **অনুপ্রস্থ তরঙ্গ** (Transverse Wave)। এই প্রসঙ্গে আর একটি গুরুত্বপূর্ণ বিষয় স্মরণ রাখা দরকার যে, **প্রতি ভর বিন্দু পর্যাবৃত্ত কম্পন করে, তাহার বেগ এবং ত্বরণের মান ও দিক্ বদলায়, কিন্তু তরঙ্গ সরলরেখা বরাবর সমবেগে চলে।**



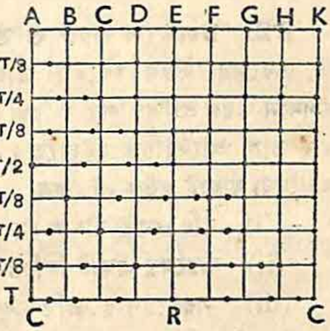
চিত্র নং 15 : চলমান তরঙ্গ।

চিত্র নং 14 লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে, ভর বিন্দু A আঘাতের ফলে উপরে উঠিতে লাগিলে তাহার গতির দিকের অভিলম্ব দিকের বিন্দুগুলি স্থিতিস্থাপক যোগসূত্রের জন্য একে একে উহার অনুরূপ গতিতে চলিতে থাকে। কিন্তু A-র গতির দিকেও ভর বিন্দু রহিয়াছে। তাহারাও A-র গতির ফলে প্রভাবিত হইয়া A-র অনুরূপ গতিতে প্রবৃত্ত হইবে না কেন ? তাহারাও A-র অনুরূপ গতিতে প্রবৃত্ত হইবে ; ফলে আর একরকম তরঙ্গের উদ্ভব হইবে।

A-র গতির ফলে গতির দিকে সামান্য ঘনত্ব ও চাপ বৃদ্ধি হইবে। এই বৃদ্ধি ক্ষণস্থায়ী ; স্থিতিস্থাপকতার জন্য A-র গতি মন্দীভূত হইবে এবং তাহার পর A মূলবিন্দুতে ফিরিয়া আসিবে। কিন্তু A-র গতির সংস্পর্শের জন্য পরের বিন্দুটিও অনুরূপ গতিতে চলিয়া তাহার পরে **সংনমন** (Compression) সৃষ্টি করিবে এবং তাহার পরে আবার স্বস্থানে ফিরিয়া আসিবে। ইতিমধ্যে A তাহার মূলবিন্দু

অতিক্রম করিয়া উল্টাদিকে চলিয়া যাইবে ফলে A-র মূলবিন্দু অঞ্চলে **তনুভবন** (Rarefaction) সৃষ্টি হইবে। A-র পরের বিন্দু অনুরূপ গতিতে চলিতে থাকায় ঐ সময় পরের বিন্দুর অঞ্চলে সংনমন হইবে। এই সংনমন ও তনুভবনের মধ্যবর্তী বিন্দুতে হইবে সাধারণ ঘনত্ব ও চাপ—অর্থাৎ **নিরপেক্ষ** (neutral) অবস্থা চিত্র নং 16।

A বিন্দু আঘাতের ফলে $\frac{T}{8}$ সেকেণ্ড পরে B-র কাছে চলিয়া গিয়াছে এবং সংনমন সৃষ্টি করিয়াছে। আর $\frac{T}{8}$ সেকেণ্ড পরে A ঐখানেই থাকিবে (কারণ, স্থিতিস্থাপকতার জন্য A-র গতি সরল দোল গতি; সেক্ষেত্রে বিস্তার শীর্ষে কিছুক্ষণ খুবই কমবেগে চলে এবং একবার থামে)। কিন্তু A-র প্রভাবে ততক্ষণে B বিন্দু C-র অঞ্চলে চলিয়া গিয়া সংনমন সৃষ্টি করিবে।



চিত্র নং 16 :

এইভাবে চিত্র নং 16-এর ভর বিন্দুগুলির এক পর্যায় কালের অষ্টমাংশ পর পর অবস্থা লক্ষ্য করিলেই দেখা যাইবে, প্রথমে একটি সংনমনের সৃষ্টি হয়; তাহার পর উহা একটি নির্দিষ্ট বেগে (এই বেগ মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে) চলিতে থাকে। তাহার পর $\frac{T}{8}$ সময় পরে A-অঞ্চল স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া আসে। এই স্বাভাবিক অবস্থাও সংনমন অবস্থার পিছনে পিছনে একই বেগে চলিতে থাকে। আর $\frac{T}{8}$ সময় পরে প্রথম অঞ্চলে তনুভবন অঞ্চল সৃষ্টি হয় এবং উহা সংনমনের পিছনে পিছনে একই বেগে চলিতে থাকে। A অঞ্চলে প্রতি $\frac{T}{8}$ সময় পর পর এক একটি নূতন অবস্থার সৃষ্টি হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে ইহা একই বেগে চলিতে থাকে। ইহাও তরঙ্গ এবং ইহার ব্যবহার চিত্র নং 15-র সহিত মিলে না। ইহার বৈশিষ্ট্য এই যে, ভরবিন্দুর দোলন গতি যেদিক বরাবর, তরঙ্গের গতিও সেইদিক বরাবর। এই ধরনের তরঙ্গকে বলে **অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ** (Longitudinal Wave)। ইহার চেহারা অনুপ্রস্থ তরঙ্গের চেহারা হইতে ভিন্ন। তবে সরণ ও দূরত্বের সম্বন্ধ গ্রাফের সাহায্যে আঁকিলে যে রেখাচিত্র পাওয়া যায়, তাহা দ্বারা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের প্রকাশ করা যায়। এই রেখাচিত্র অনুপ্রস্থ তরঙ্গের হুবহু একরকম। কিন্তু এই চেহারা কল্পিত, বাস্তব নয়।

অনুপ্রস্থ তরঙ্গকে স্থায়ী করিতে হইলে **কৃন্তন বলের** (Shearing Force) প্রয়োজন। সেইজন্য গ্যাস বা তরলের অভ্যন্তরে অনুপ্রস্থ তরঙ্গের উদ্ভব হয় না। কঠিন পদার্থের অভ্যন্তরে দুই রকম তরঙ্গেরই উদ্ভব হইতে পারে। আর তরলের মুক্ত

পৃষ্ঠে একটি ঢিল ফেলিলে অনুপ্রস্থ তরঙ্গের উদ্ভব হয়। যে কোন প্রকার তরঙ্গের কারণ বিন্দুর **পর্যাবৃত্ত গতি** (Periodic Motion)। সাধারণতঃ এই গতি সরল দোল গতি। ব্যতিক্রম কেবল জল তরঙ্গের (water waves) বা তরল পৃষ্ঠে তরঙ্গের বেলায়। এই তরঙ্গের ক্ষেত্রে বিন্দুগুলি বৃত্তাকারে পর্যাবৃত্ত গতিতে ঘুরিতে থাকে। আবার তরঙ্গ কেবল যান্ত্রিক বল দ্বারাই উদ্ভূত হয় না, তড়িচ্চুম্বকীয় বল দ্বারাও উদ্ভূত হইতে পারে। রেডিও-তরঙ্গ, আলোক-তরঙ্গ প্রভৃতি এইভাবে উদ্ভূত হয়। ইহারা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ। শব্দ-তরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ। শব্দ-তরঙ্গ স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ ; কিন্তু জলের তরঙ্গ অভিকর্ষ ও পৃষ্ঠটান দ্বারা নিয়ন্ত্রিত তরঙ্গ।

2·2. **চলমান তরঙ্গ ও তাহার সমীকরণ ঃ** উপরে আলোচনা করা হইয়াছে যে, তরঙ্গের উদ্ভব হইলেই তাহা চলমান (Progressive)। তৃতীয় পরিচ্ছেদে চলমান তরঙ্গ প্রতিফলিত করিয়া যে নিশ্চল তরঙ্গ (Stationary Wave) সৃষ্টি করা যায় তাহা আলোচিত হইয়াছে। চলমান তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য এই যে, অনুপ্রস্থ বা অনুদৈর্ঘ্য যাহাই হউক না কেন,

(i) যদি একই মাধ্যম হয় তবে তরঙ্গ সরলরেখা অনুসরণ করিয়া চলে,

(ii) তরঙ্গের একটি নির্দিষ্ট বেগ আছে,

(iii) সরলরেখার প্রতিবিন্দু একেবারে অনুরূপ (Identical) পর্যাবৃত্ত গতিতে চলে ; এই গতি সাধারণতঃ সরল দোল গতি,

(iv) একই মুহূর্তে ভিন্ন ভিন্ন বিন্দুর ভিন্ন ভিন্ন দশা ; এই দশা কোনও নির্দিষ্ট বিন্দু হইতে ভিন্ন ভিন্ন বিন্দুর দূরত্বের উপর নির্ভরশীল,

(v) আবার, কোন নির্দিষ্ট বিন্দুর দশা সময়ের সহিতও পরিবর্তনশীল।

এখন তরঙ্গের বেগ বলিতে কাহার বেগ বুঝায় ? যে সকল বিন্দু পর্যাবৃত্ত গতিতে চলিতেছে তাহারা ত চলিতেছে না। তরঙ্গের রেখাচিত্রটি (profile) চলিতেছে— অর্থাৎ তরঙ্গের বেগ হইল যে কোন বিন্দুর অবস্থার দশার বেগ। সেইজন্য তরঙ্গের বেগের আর এক নাম **দশার বেগ** (Phase Velocity)।

চিত্র নং 15 একটি নির্দিষ্ট মুহূর্তে একটি তরঙ্গের রেখাচিত্র। ঐ মুহূর্তে A-তে দশা শূন্য ; A হইতে যতই দূরে যাওয়া যায় ততই দশা বাড়িতেছে। Q-তে দশা $\frac{\pi}{2}$, সরণ PQ সর্বাধিক। তাহার পরে দশা বাড়িতেছে, সরণ কমিতেছে। C-তে ঐ সময়ে দশা π। তাহার পরে দশা ক্রমেই বাড়িতেছে, সরণ ঋণাত্মক হইয়াছে এবং ঋণাত্মক মান বাড়িতেছে। দশা $\frac{3\pi}{2}$ বা 270° হইলে ঋণাত্মক সরণ সর্বাধিক এবং E-তে দশা 2π (বা 0°), সরণ শূন্য। সুতরাং A ও E একই দশায় আছে। A ও E-র দূরত্বকে বলে **তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য** (Wave-length)। ইহার সাধারণ প্রতীক λ। তোমরা পড়িয়াছ, এক পর্যায় শেষ হওয়া মানে দশা 2π বা 360° পাল্টান এবং প্রারম্ভিক দশার পুনরাবির্ভাব। যদি পর্যায় কাল হয় T, তবে T সময়ে তরঙ্গ

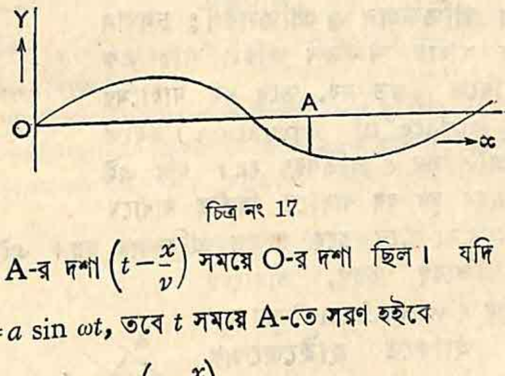
λ দূরত্ব অতিক্রম করে। আবার যদি কম্পাঙ্ক হয় n, তবে $T=\frac{1}{n}$। সুতরাং $\frac{1}{n}$ সময়ে তরঙ্গ λ দূরত্ব অতিক্রম করে। অর্থাৎ একক সময়ে তরঙ্গ অতিক্রম করে $n\lambda$ দূরত্ব। যদি তরঙ্গের বেগ হয় v, তবে বেগের সংজ্ঞানুসারে একক সময়ে অতিক্রান্ত দূরত্ব v।

$$\therefore \quad v=n\lambda \quad \cdots \quad \cdots \qquad (2\cdot2\cdot1)$$

বা, **তরঙ্গের বেগ = কম্পাঙ্ক × তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য**

চলমান তরঙ্গের সমীকরণ ঃ তরঙ্গের সমীকরণ এমন একটি সমীকরণ, যাহার সাহায্যে যে কোন স্থানে যে কোন সময়ে ভর বিন্দুর দশা ও সরণ বাহির করা যায়।

ধর, একটি তরঙ্গের উৎস বিন্দু O এবং একটি বিন্দু A (দূরত্ব x)-তে t সময়ে দশা এবং সরণ কি তাহা বাহির করিতে হইবে। চিত্র নং 17-তে তরঙ্গের রেখা-চিত্র দেখান হইয়াছে। যদি তরঙ্গের বেগ হয় v, তবে OA অতিক্রম করিতে তরঙ্গের সময় লাগিয়াছে $\frac{x}{v}$। t সময়ে A-র যে দশা তাহা $\frac{x}{v}$ সময়ে O হইতে A-তে আসিয়াছে, কারণ সমস্ত বিন্দুর সব সময়ের কম্পন দশার O-তেই উদ্ভব হইয়াছে।



চিত্র নং 17

সুতরাং t সময়ে A-র দশা $\left(t-\frac{x}{v}\right)$ সময়ে O-র দশা ছিল। যদি O-তে কম্পনের সমীকরণ হয় $y=a \sin \omega t$, তবে t সময়ে A-তে সরণ হইবে

$$y=a \sin \omega\left(t-\frac{x}{v}\right)$$

$$=a \sin\left(\omega t-\frac{\omega x}{v}\right)$$

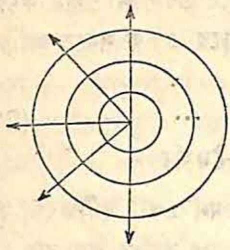
$$=a \sin\left(\omega t-\frac{2\pi n x}{n\lambda}\right) \quad [\ \ldots\ldots (2\cdot2\cdot1) \text{ হইতে }]$$

$$=a \sin\left(\omega t-\frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

$$=a \sin(\omega t-kx)\left[\text{এখানে } k=\frac{2\pi}{\lambda}\right] \quad \cdots \qquad (2\cdot2\cdot2)$$

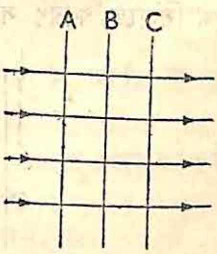
ইহাই হইতেছে চলমান তরঙ্গের সমীকরণ।

2.3. গোলকীয় ও সমতল তরঙ্গ (Spherical and Plane Waves)। কোন বিন্দুতে তরঙ্গের উদ্ভব হইতে থাকিলে উহা পার্শ্ববর্তী সমস্ত বিন্দুকেই প্রভাবিত করে। সুতরাং ঐ বিন্দু হইতে সমস্ত দিকে সমভাবে সরলরেখা ধরিয়া তরঙ্গ চলিতে থাকে। সুতরাং উৎস বিন্দু হইতে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে সমস্ত বিন্দু সব সময় একই দশায় থাকে। এই প্রকারের তরঙ্গকে বলে **গোলকীয় তরঙ্গ** (Spherical Wave)। আর উৎস বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া যে কোন ব্যাসার্ধের একটি গোলক আঁকিলে সেই গোলকের পৃষ্ঠ একটি **সম দশার পৃষ্ঠ** (Surface of equal phase)। ইহার আর এক নাম **তরঙ্গ পৃষ্ঠ** (wave front) (চিত্র 18 দ্রষ্টব্য)। এই পৃষ্ঠটি সময়ের সহিত প্রতি বিন্দুতে অভিলম্ব দিক্ বরাবর অগ্রসর হয়।



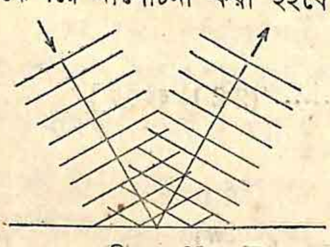
চিত্র নং 18

যে চলমান তরঙ্গের যে কোন সমদশার পৃষ্ঠ একটি সমতল ক্ষেত্র, তাহাকে বলে **সমতল তরঙ্গ** (Plane Wave)। চিত্র নং 19-এ ইহা দেখান হইয়াছে। A, B, C প্রভৃতি সমদশার পৃষ্ঠ।

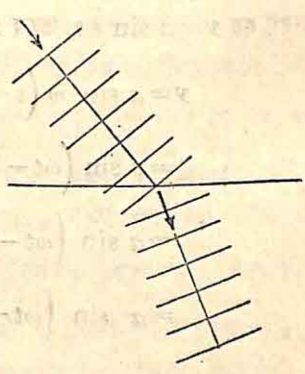


চিত্র নং 19

2·4. তরঙ্গের প্রতিফলন ও প্রতিসরণ: চলমান তরঙ্গ পৃষ্ঠ যদি এক মাধ্যম অতিক্রম করিয়া আর এক মাধ্যমে প্রবেশ করিতে উদ্যত হয়, তবে দুই মাধ্যমের পৃথকীকরণ পৃষ্ঠ (surface of separation) হইতে তরঙ্গের আংশিক প্রতিফলন ও প্রতিসরণ হয়। যদি এই পৃথকীকরণ পৃষ্ঠ এমন দৃঢ় হয় যাহাতে দ্বিতীয় মাধ্যমে তরঙ্গ প্রবেশ করিতে না পারে তবে কেবল প্রতিফলন হয়। এই প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত তরঙ্গ উভয়েই তরঙ্গ, তাহাদের প্রত্যেকের তরঙ্গ পৃষ্ঠ (wave front) আছে। এই তরঙ্গ পৃষ্ঠ আঁকিতে **হাইজেন্সের** (Hyghens') পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়। সে সম্বন্ধে পরে আলোচনা করা হইবে। যদি



চিত্র নং 20



চিত্র নং 23

সমতল পৃষ্ঠে এই প্রতিফলন ও প্রতিসরণ হয় আর আপতিত তরঙ্গ যদি সমতল তরঙ্গ হয়, তবে তাহার পরে তরঙ্গের চেহারা কি হইবে তাহা চিত্র 20 ও 21-এ দেখান হইয়াছে।

দৃঢ় ও নমনীয় প্রতিফলকে প্রতিফলন (Reflection at a Rigid and an Yielding Reflector) : যদি প্রতিফলক পৃষ্ঠ দৃঢ় হয় তবে তরঙ্গের পর্যাবৃত্ত বলে উহার কোন বিকৃতি হয় না। ফলে লম্বভাবে প্রতিফলিত হইলে তরঙ্গের শীর্ষ (crest) একটি শীর্ষ হিসাবেই প্রতিফলিত হয়। কিন্তু যদি প্রতিফলক পৃষ্ঠ নমনীয় হয়, তবে তরঙ্গের শীর্ষের আপতনে পৃষ্ঠের বিকৃতি ঘটে। সুতরাং প্রতিফলক পৃষ্ঠের তলে একটি খাদের (trough) সৃষ্টি হয় এবং এই খাদ বিপরীতমুখী প্রতিফলন দিকে চলিতে থাকে। আবার আপতিত তরঙ্গের খাদ ঐ পৃষ্ঠ হইতে শীর্ষ হিসাবে প্রতিফলিত হয়।

এই প্রতিফলন ও প্রতিসরণ দুইটি সূত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রিত। ইহাদের নাম যথাক্রমে **প্রতিফলন সূত্র** (Laws of Reflection) ও **প্রতিসরণ সূত্র বা স্নেলের সূত্র** (Laws of Refraction or Snell's Law)। এ সম্বন্ধে আলোকবিদ্যা প্রসঙ্গে বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে।

প্রশ্নমালা

1. অনুপ্রস্থ চলমান তরঙ্গ কোন মাধ্যমে চলিতে থাকা কালে, সেই মাধ্যমের বস্তু বিন্দুগুলির গতি কিভাবে হয়, তাহার চিত্রসহ বিবরণ দাও।
2. অনুপ্রস্থ ও অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ-বিস্তারের পার্থক্য বিস্তারিতভাবে বুঝাইয়া লেখ।
3. কোন মাধ্যমে তরঙ্গ বিস্তারের সমীকরণ লেখ এবং প্রত্যেকটি রাশির বিবরণ দাও।
4. তরঙ্গের প্রতিফলন কাহাকে বলে? প্রতিফলনে তরঙ্গ পৃষ্ঠের ক্রম পরিণতি চিত্র দ্বারা বুঝাইয়া লেখ।
5. তরঙ্গ পৃষ্ঠ কাহাকে বলে? দশা এবং তরঙ্গ পৃষ্ঠের সম্বন্ধ কি?

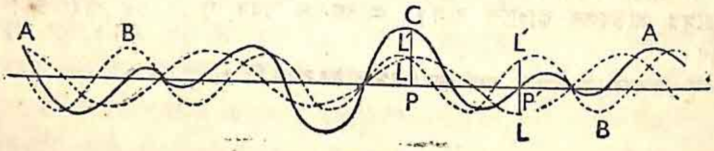
তৃতীয় পরিচ্ছেদ

তরঙ্গের উপরিপতি

(Superposition of Waves)

3·1. একাধিক তরঙ্গের উপস্থিতিঃ যে কোন তরঙ্গ উৎসের কাছে কোন বিন্দুতে তরঙ্গের প্রভাব পড়ে এবং তাহার ফলে ঐ বিন্দুতে আন্দোলন হয়। তাহার একটি বিস্তার (amplitude) থাকে এবং প্রতি মুহূর্তে একটি সরণ (displacement) থাকে। এই আন্দোলন তরঙ্গ উৎসের আন্দোলনের অনুরূপ। উভয়ের একই পর্যায় কাল (Time period) কিন্তু দশার পার্থক্য থাকে। উৎস হইতে ঐ বিন্দুতে আসিতে তরঙ্গের বেগ অনুযায়ী একটি নির্দিষ্ট সময় লাগে এবং এই সময় অনুযায়ী একটি স্থায়ী দশার পার্থক্য থাকে। যে কোন মুহূর্তে আলোচ্য বিন্দুর দশা সেই মুহূর্তে তরঙ্গ উৎসের বা অন্য যে কোন বিন্দুর দশার সহিত একটি নির্দিষ্ট ব্যবধান রক্ষা করে। যদি উৎস হইতে ঐ বিন্দুর দূরত্ব x এবং তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ হয়, তবে সমীকরণ (2·2·2) অনুযায়ী এই দশার ব্যবধান হইবে $kx=\frac{2\pi x}{\lambda}$।

মনে কর, দুইটি তরঙ্গ উৎস হইতে দুইটি তরল নির্গমন হইতেছে। দুই তরঙ্গই আলোচ্য বিন্দুর মধ্য দিয়া যাইতেছে। তাহা হইলে উভয় তরঙ্গই আলাদাভাবে আলোচ্য বিন্দুকে প্রভাবিত করিবে; আলোচ্য বিন্দুর যে কোন মুহূর্তে দুই তরঙ্গের জন্য আলাদা সরণ হইবে, এবং ফলে আলোচ্য বিন্দুর একটি লব্ধি সরণ হইবে। এই লব্ধি সরণ ঐ দুই

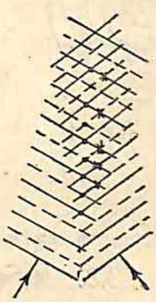


চিত্র 22

তরঙ্গের জন্য ঐ মুহূর্তে আলাদা সরণের বীজগাণিতিক যোগফল (Algebraic sum) যেহেতু দুইটি সরণই একই রেখা বরাবর হয়। চিত্র নং 22 লক্ষ্য করিলে ইহা বুঝা যাইবে। A রেখা হইতেছে আলোচ্য বিন্দুতে প্রথম তরঙ্গের জন্য বিভিন্ন মুহূর্তে সরণের গ্রাফরেখা। সেইরূপ B হইতেছে আলোচ্য বিন্দুতে বিভিন্ন মুহূর্তে দ্বিতীয় তরঙ্গের জন্য উদ্ভূত সরণের গ্রাফ-রেখা। প্রতি মুহূর্তে দুই সরণের বীজগাণিতিক যোগ করিয়া যে লব্ধি সরণ পাওয়া গিয়াছে তাহার গ্রাফ্-রেখা হইল C। সুতরাং ঐ দুই তরঙ্গের উপরিপতির ফলে আলোচ্য বিন্দুর যে আন্দোলন হইবে তাহাই C-রেখা। বিভিন্ন অবস্থায় একাধিক তরঙ্গের উপরিপতির ফলে বিভিন্ন ফল পাওয়া যায়, যথা— **ব্যতিচার** (Interference), **অধিকম্প** (Beats), **স্থানু তরঙ্গ** (Stationary waves)।

3·2. **ব্যতিচার** (Interference) : যদি দুই বা ততোধিক তরঙ্গমালা সদৃশ ও একই দিকে চলমান হয় এবং যদি তাহাদের বিস্তার ও কম্পাঙ্ক একই হয় তবে তাহাদের উপরিপতির ফলকে বলে **ব্যতিচার**।

সমস্যা সরলীকরণের জন্য প্রথমে ধরিয়া লওয়া হয় যে, দুইটি তরঙ্গমালার উপরিপতি হইতেছে এবং উভয় তরঙ্গমালাই সমতল তরঙ্গ (Plane waves)। ইহার সর্বাপেক্ষা সহজ দৃষ্টান্ত জলের তরঙ্গ। চিত্র নং 23-এ ইহা দেখান হইয়াছে। অনেকখানি স্থান জুড়িয়া এই দুই চলমান তরঙ্গমালার উপরিপতি হইবে। বামদিকের সমান্তরাল পূর্ণ রেখাগুলি প্রথম তরঙ্গমালার শীর্ষমালা (crest)। আর সমান্তরাল ভগ্নরেখাগুলি তরঙ্গ খাদ (trough)। সেইরূপ ডাইনেরও সমান্তরাল পূর্ণ ও ভগ্ন রেখাগুলি দ্বিতীয় তরঙ্গমালা। সমস্তটাই কোন এক নির্দিষ্ট মুহূর্তের চিত্র। পাশাপাশি দুই শীর্ষের বা খাদের মধ্যকার দূরত্ব λ (বা তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য) এবং তাহাদের দশা পার্থক্য 2π। একটি শীর্ষ ও তাহার পার্শ্ববর্তী খাদের দূরত্ব $\frac{\lambda}{2}$, দশা পার্থক্য π।

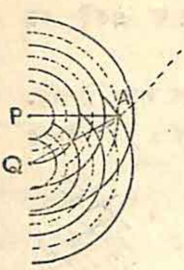


চিত্র 23

যে যে বিন্দুতে এক তরঙ্গমালার পূর্ণ রেখাগুলি (বা ভগ্ন রেখাগুলি) অপর তরঙ্গমালার পূর্ণরেখা (বা ভগ্নরেখা) ছেদ করিয়াছে, সেগুলি (·) চিহ্ন দ্বারা চিহ্নিত। আর, সে যে বিন্দুতে দুই তরঙ্গ মালার পূর্ণ ও ভগ্ন রেখাগুলি ছেদ করিয়াছে সেগুলি (×) চিহ্ন দ্বারা চিহ্নিত। প্রথম ছেদ বিন্দুতে শীর্ষ বা খাদ এবং সরণ দ্বিগুণ হইয়া যায়। কিন্তু দশা পার্থক্য বদলায় না। এই বিন্দুগুলি একটি সরলরেখার উপর অবস্থিত। আবার (×) চিহ্নিত বিন্দুগুলি আর একটি সরলরেখার উপর অবস্থিত ; এই রেখা পূর্বের রেখার সমান্তরাল। এখন, একটু চিন্তা করিলেই বুঝা যাইবে, দুই তরঙ্গ শীর্ষমালা সামনের দিকে চলিতেছে। ফলে (·)-চিহ্নিত ও (×)-চিহ্নিত বিন্দুগুলি যথাক্রমে ঐ দুই সরলরেখা বরাবর চলিতে থাকিবে। তরঙ্গ যদি জলের হয় এবং উহাদের উপর যদি চক্ষু নিবদ্ধ রাখা হয় তবে এই চলা দেখা যাইবে। কিন্তু ঐ দুই রেখা বরাবর অন্যান্য বিন্দুর সরণ পৃথক পৃথক হইলেও তাহাদের দশা যথাক্রমে 2π ও π থাকিবে বদলাইবে না। এই ব্যতিচার কেবল জলের তরঙ্গের ক্ষেত্রেই সীমাবদ্ধ নয়। শব্দ, আলোক প্রভৃতি তরঙ্গের ক্ষেত্রেও একইভাবে হইবে। এই সকল ক্ষেত্রে এইরূপ চিহ্নিত বিন্দুগুলির পরিভ্রমণ দেখা যাইবে না, মনে হইবে উহারা স্থির। এ সম্বন্ধে চতুর্থ পরিচ্ছেদে (§4·12) বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে।

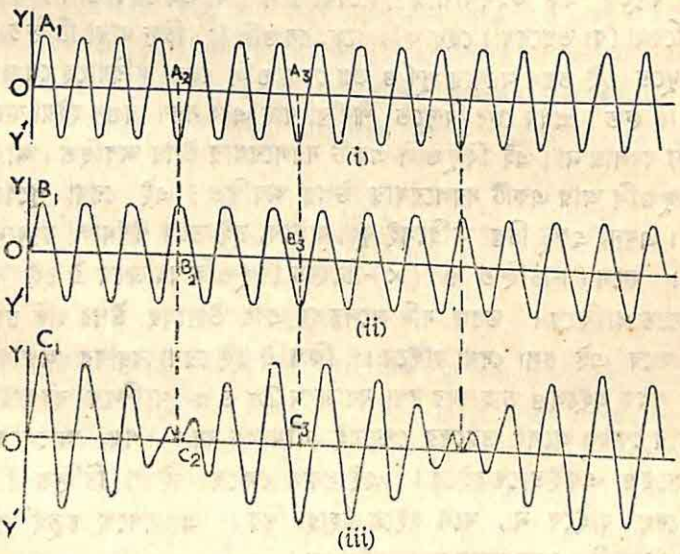
যদি তরঙ্গগুলি সমতল না হইয়া কোন উৎস বিন্দু হইতে নির্গত হয়, তবে তরঙ্গ পৃষ্ঠগুলি (wave-front) গোলকীয় হইবে। জলের তরঙ্গ হইলে উহা বৃত্তাকার হইবে। যদি পাশাপাশি দুইটি তরঙ্গ উৎস হইতে একই কম্পাঙ্কের এবং সর্ববিষয়ে সদৃশ, তরঙ্গ ক্রমাগত নির্গত হয় তবে একইভাবে তরঙ্গের ব্যতিচার হইবে। ইহা চিত্র-24-এ

দেখান হইয়াছে। দেখা যাইতেছে A বিন্দু P-র একটি ভগ্নরেখা ও Q-র একটি পূর্ণ রেখার ছেদবিন্দু এবং উপরিপতির ফলে উহার সরণ শূন্য। পর মুহূর্তে ঐ ভগ্ন ও পূর্ণ রেখা উভয়েই A-বিন্দু অতিক্রম করিয়া চলিয়া যাইবে। A-র সরণ ও দশা P ও Q তরঙ্গ শ্রেণীর জন্য প্রতি মুহূর্তে আলাদাভাবে বদলাইবে। কিন্তু উভয়ের দশা পার্থক্য বদলাইবে না। কারণ, P-র জন্য A-র দশা PA এবং Q-র জন্য A-র দশা QA দূরত্বের উপর নির্ভর করে। সময়ের জন্য যে দশা বদলায় তাহা P-র জন্য যাহা, Q-র জন্যও তাহাই। সুতরাং A-তে উভয়ের দশা পার্থক্য বদলায় না। ব্যতিচারের ফলে সেখানে কোন নির্দিষ্ট মুহূর্তে যে অবস্থার সৃষ্টি হয় তাহা জলের তরঙ্গের ক্ষেত্রে বদলায়, কিন্তু শব্দ বা আলোক তরঙ্গের বেলায় বদলায় না। ইহার কারণ §4·12-এ আলোচিত হইয়াছে।



চিত্র 24

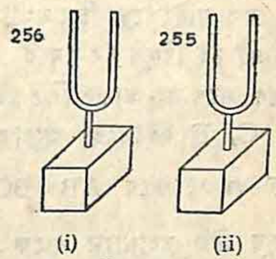
3.3. **অধিকম্প (Beats) ঃ** যদি দুইটি তরঙ্গমালা একই দিকে চলমান হয় এবং তাহাদের বিস্তার একই কিন্তু কম্পাঙ্ক সামান্য আলাদা হয়, তবে তাহাদের উপরিপতির ফলে যে ইন্দ্রিয়গ্রাহ্য ব্যাপার ঘটে তাহাকে বলে **অধিকম্প**। চিত্র নং 25 লক্ষ্য করিলে ইহা স্পষ্ট বুঝা যাইবে। চিত্র নং 25 (i) ও (ii) দুইটি তরঙ্গ উৎস।



চিত্র নং 25

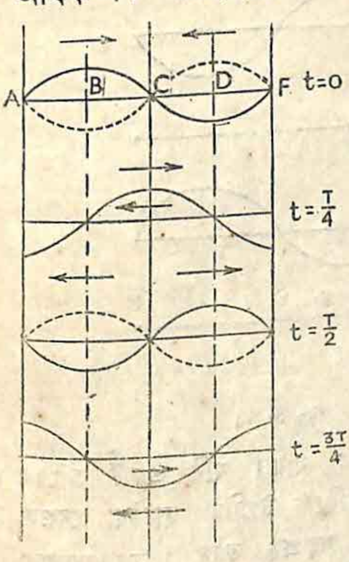
ধর, নির্গত তরঙ্গমালার কম্পাঙ্ক যথাক্রমে 14 ও 12 প্রতি সেকেণ্ড। মনে কর, উভয়ের বিস্তার a। যদি প্রারম্ভিক মূহূর্তে উভয়ের একই দশা থাকে, তবে $\frac{1}{4}$ সেকেণ্ড পরে প্রথম তরঙ্গ উৎস হইতে $3\frac{1}{2}$টি তরঙ্গ আসিয়াছে। অর্থাৎ উহার দশা π এবং ঐ মুহূর্তে সরণ $-a$ [বিন্দু A_2]। সেই একই সময়ে দ্বিতীয় তরঙ্গ উৎস হইতে

3টি তরঙ্গ আসিয়াছে। অর্থাৎ উহার দশা 2π বা 0 এবং ঐ মুহূর্তে সরণ $+a$ [বিন্দু B_2]। সুতরাং ঐ মুহূর্তে উপরিপতির ফলে লব্ধি সরণ শূন্য [বিন্দু C_2]। আরও $\frac{1}{4}$ সেকেণ্ড পরে প্রথম তরঙ্গের সরণ $-a$, দ্বিতীয় তরঙ্গের সরণও $-a$ এবং লব্ধি সরণ $-2a$। আরও $\frac{1}{4}$ সেকেণ্ড পরে লব্ধি সরণ 0 এবং পুরা এক সেকেণ্ড সময়ে লব্ধি সরণ $+2a$। সুতরাং এই উপরিপতির ফলে প্রতি সেকেণ্ডে দুইবার এক তরঙ্গ আর এক তরঙ্গকে নির্বাপিত করিতেছে এবং তাহারই মধ্যে মধ্যে দুইবার দ্বিগুণ বাড়াইতেছে। চিত্র নং 25 (*iii*)-এ লব্ধি তরঙ্গ দেখানো হইয়াছে। ইহা একটি পরীক্ষা দ্বারা দেখান যায়। চিত্র নং 26-এ ইহার ব্যবস্থা দেখান হইয়াছে।

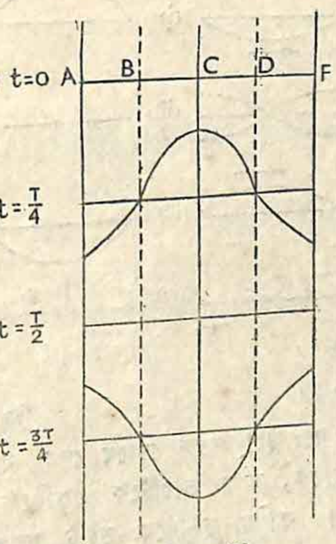


চিত্র নং 26

দুইটি ছোট পাশাপাশি বাক্সে দুইটি সুর শলাকা আছে। তাহাদের কম্পাঙ্ক 256 ও 255 প্রতি সেকেণ্ড। এইবার একটি ছোট হাতুড়ি দিয়া দুই সুর শলাকাকে স্পন্দিত করা হইলে কানে যে শব্দ শোনা যাইবে তাহা উহাদের যে কোন একটি সুর শলাকার শব্দের মত নয়। শোনা যাইবে একটি কাঁপা কাঁপা শব্দ। একবার প্রবল শব্দ এবং তাহার পরই হঠাৎ কোন শব্দ শোনা যাইবে না। পরক্ষণেই আবার প্রবল শব্দ। আর প্রতি সেকেণ্ডে একবার করিয়া শব্দ হঠাৎ কমিয়া যাইবে। ইহাই **অধিকম্প**। যদি দুই সুর শলাকার কম্পাঙ্ক-প্রভেদ 5 হইত, তবে প্রতি সেকেণ্ডে 5 বার শব্দ উচ্চ গ্রামে উঠিত ও 5 বার অতি ক্ষীণ (প্রায় নগণ্য) হইত।



চিত্র নং 27

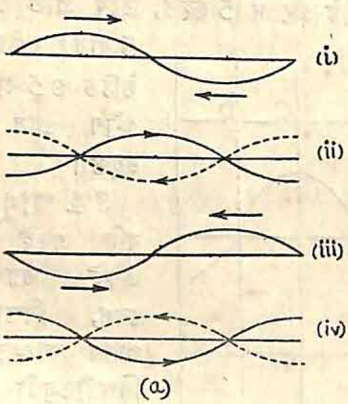


চিত্র নং 28

3·4. স্থাণু তরঙ্গ : যদি একই রকমের একই তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য, বেগ, বিস্তার ও পর্যায় কালের দুইটি বিপরীতমুখী তরঙ্গ অবিশ্রান্তভাবে একই সরলরেখা বরাবর চলিতে থাকে, তবে তাহাদের উপরিপতির ফলে তাহারা একটি স্থাণু তরঙ্গের সৃষ্টি করে। এই নিশ্চল তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য এই যে, তরঙ্গ পথের কিছু কিছু বিন্দু চরম

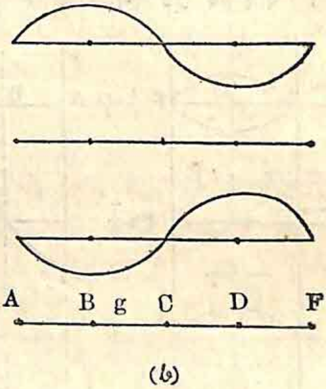
বিস্তারে স্পন্দিত হইতে থাকে। আর কিছু কিছু বিন্দু একেবারেই স্পন্দিত হয় না। প্রথমোক্ত বিন্দুগুলিকে বলে **সুস্পন্দ বিন্দু** (antinodes); শেষোক্ত বিন্দুগুলিকে বলে **নিস্পন্দ বিন্দু** (nodes)। এই স্থাণু তরঙ্গ সঠিকভাবে বুঝিতে হইলে **এক এক সময়কার** ভিন্ন ভিন্ন বিন্দুর দুই তরঙ্গের জন্য উদ্ভুত সরণের গ্রাফ-রেখা জানা দরকার। চিত্র নং 27-এ $t=0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}$, এই চার মুহূর্তের সরণ গ্রাফ দেখান হইয়াছে। চিত্র নং 28-এ দুইয়ের লব্ধি সরণ দেখান হইয়াছে।

দেখা যাইতেছে, চিত্র নং 28-এ যদি উভয় তরঙ্গের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য হয় AF, তবে B ও D, এই দুই বিন্দুর সব সময়ই কোন সরণ হইবে না। আবার A, C, F এই তিন বিন্দু দ্বিগুণ সরণ সহ আন্দোলিত হইবে। B ও D হইতেছে নিস্পন্দ বিন্দু (nodes); A, C, F হইতেছে সুস্পন্দ বিন্দু (antinodes)। আর যদি তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য AF হয় λ, তবে $AB=BC=CD=DF=\frac{\lambda}{4}$। যে কোন পাশাপাশি দুই নিস্পন্দ বিন্দুর ঠিক মধ্যখানে থাকে একটি সুস্পন্দ বিন্দু, আর যে কোন পাশাপাশি দুই সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে থাকে একটি নিস্পন্দ বিন্দু। এই দুই চলমান (progressive) তরঙ্গ মিলিয়া সৃষ্টি করে একটি **স্থাণু তরঙ্গ**। চিত্র নং 31-এ যে স্থাণু তরঙ্গ দেখান হইয়াছে তাহাতে দুই প্রান্ত বিন্দু A, F (আর তাহার সহিত C) সুস্পন্দ বিন্দু।



(a)

চিত্র নং 29

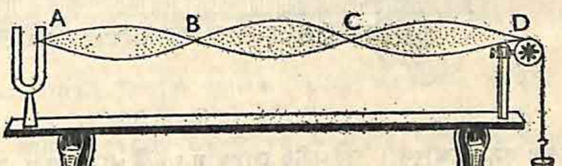


(b)

চিত্র নং 30

সাধারণতঃ তারের যন্ত্রে স্থাণু তরঙ্গ চোখে দেখা যায়। যদি একটি তারের দুই প্রান্ত আটকান থাকে, আর তারটিকে একদিকে টানিয়া ছাড়িয়া দেওয়া হয় তবে তার অনুসরণ করিয়া দুইদিকে দুইটি অনুপ্রস্থ তরঙ্গ (transverse waves) যাইবে এবং প্রান্তবিন্দুতে প্রতিফলিত হইবে। এই দুই বিপরীতমুখী সদৃশ তরঙ্গের উপরিপতি হইতে স্থাণু তরঙ্গের সৃষ্টি হইবে। এই স্থাণু তরঙ্গ

চোখে স্পষ্ট দেখা যাইবে এবং সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুগুলিও পরিষ্কার দেখা যাইবে। দুই প্রান্ত বিন্দু A, F নিস্পন্দ বিন্দু হইবে। কিন্তু চলমান তরঙ্গের চলার পথে প্রত্যেক বিন্দুতে বিভিন্ন মুহূর্তে বিভিন্ন সরণ হইবেই ; A ও F বিন্দুতেও হইবে। তবে বিপরীতমুখী দুই তরঙ্গের জন্য A বা F-এ সব সময়ই দুইটি সমান কিন্তু বিপরীত-মুখী সরণ সৃষ্টি হইবে এবং উহাদের বীজগাণিতিক যোগফল শূন্য হইবে, ফলে A ও F-এ নিস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টি হইবে। দুই দিকের তরঙ্গের আলাদা সরণ গ্রাফ চিত্র নং 29-এ দেখান হইয়াছে এবং উহাদের উপরিপতির ফল, অর্থাৎ স্থাণু তরঙ্গ, চিত্র 30-এ দেখান হইয়াছে। দেখা যাইতেছে, B ও D সুস্পন্দ বিন্দু। তারটি AC ও CF, দুইটি সমান অংশে বিভক্ত হইয়া স্পন্দিত হইতেছে। AC অংশের অনুপ্রস্থ তরঙ্গ C-কে অতিক্রম করিতেছে না। আবার, AC অংশ ও CF অংশ সামগ্রিকভাবে আন্দোলিত হয়। AC-র মধ্যবিন্দু B (সুস্পন্দ বিন্দু) এবং আর একটি বিন্দু G এক সঙ্গে একই দিকে চলে। B-র সরণ যখন সর্বাধিক (maximum), G-র সরণও তখন একই দিকে চরম। কিন্তু B-র সর্বাধিক সরণ বা বিস্তার ও G-র বিস্তার সমান নয়। B-র বিস্তার সর্বাপেক্ষা বেশী। কিন্তু B ও G বা AC-র যে কোন বিন্দুর একই দশা। উহাদের মধ্যে কোন দশা পার্থক্য থাকে না। সমগ্র AC অংশ একটি সরলরেখা হইতে সামগ্রিকভাবে একটি সাইন বা কোসাইন রেখার (sine বা cosine curve) আকৃতি লয়। CF অংশের আন্দোলনও একই সঙ্গে অনুরূপভাবেই হয়, কিন্তু AC ও CF অংশের গতির দিক্ বিপরীতমুখী। C ও F-এর মধ্যে বিন্দু পরম্পরা বিস্তার অল্প অল্প আলাদা, কিন্তু দশা সকলেরই এক। সুতরাং A হইতে C পর্যন্ত দশার কোন পার্থক্য নাই, কিন্তু C বিন্দু অতিক্রম করা মাত্র দশা π বা $180°$ পাল্টাইয়া যায়। স্থাণু তরঙ্গের এই চেহারা চাক্ষুষ দেখিতে হইলে চিত্র নং 31-এর ব্যবস্থা দ্বারা একটি পরীক্ষা করা যায়। একটি সুর শলাকার (tuning fork) এক প্রং-এর (prong) সহিত একটি সুতা বাঁধিয়া সুতাটি অনুভূমিকভাবে টানিয়া একটি হালকা মসৃণ পুলির (pulley) উপর দিয়া ঘুরাইয়া ঝুলাইয়া দেওয়া হয় এবং তাহাতে একটি হালকা ওজন ঝুলাইয়া দেওয়া হয়। এইবার সুর শলাকাতে ঘা মারিলে দেখা যাইবে সুতার দৈর্ঘ্য বরাবর অনুপ্রস্থ স্থাণু তরঙ্গের সৃষ্টি হইয়াছে। উহার চেহারা চিত্র নং 31-এ দেখান হইয়াছে। দেখা যাইবে, সুতাটি কয়েকটি ভাগে বিভক্ত হইয়া আন্দোলিত হইতেছে। তরঙ্গ একেবারে নিশ্চল রহিয়াছে এবং সমস্ত জিনিসটি পরিষ্কার দেখা যাইতেছে। এ সম্বন্ধে বিভিন্ন উদাহরণ পরবর্তী অনুচ্ছেদে আলোচিত হইয়াছে।

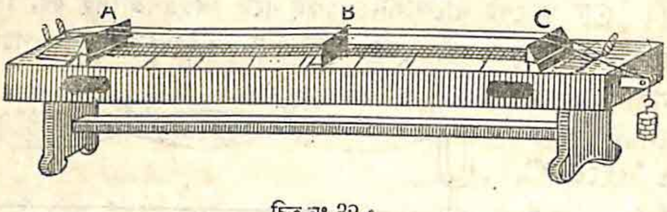


চিত্র নং 31 :

3.5. স্থাণু তরঙ্গের কয়েকটি উদাহরণঃ পূর্ববর্তী দুই অনুচ্ছেদের যুক্তি বিশ্লেষণ করিলে বুঝা যাইবে যে, যদি একদিকে একটি তরঙ্গ অনবরত নির্গত হইতে থাকে, আলোক বা শব্দ বা তড়িচ্চুম্বকীয়, অনুপ্রস্থ বা অনুদৈর্ঘ্য, যাহাই হউক না কেন, আর এই তরঙ্গ শ্রেণী যদি কোথাও সোজাসুজি প্রতিফলিত হইয়া অনবরত আপতিত তরঙ্গ শ্রেণীর সহিত মিলিত হয়, তবে এই উপরিপতির জন্য স্থাণু তরঙ্গের উদ্ভব হইবেই। এই তরঙ্গের বৈশিষ্ট্যগুলি তোমরা পড়িয়াছ।

স্থাণু তরঙ্গের সর্বাপেক্ষা সহজ উদাহরণ তারের স্পন্দন দ্বারা উদ্ভূত অনুপ্রস্থ তরঙ্গ। এ সম্বন্ধে § 3·4 অনুচ্ছেদে আলোচনা করা হইয়াছে।

তারের স্পন্দন (Vibration of Strings)ঃ তারের স্পন্দন সৃষ্টি করিবার সহজ উপায় হইল, উহার এক প্রান্ত একটি ফ্রেমের সহিত শক্ত করিয়া বাঁধিয়া অপর প্রান্ত একটি হালকা মসৃণ পুলির উপর দিয়া ঘুরাইয়া একটি ওজন দ্বারা ঝুলাইয়া দেওয়া হয় (চিত্র নং 32)। তারকে এক প্রান্তে ওজন দিয়া না ঝুলাইয়া দুই প্রান্তই শক্ত করিয়া বাঁধিয়া পরীক্ষা-নিরীক্ষা করা যায়। চিত্র নং 32-এর যন্ত্রকে বলে **সনোমিটার** (Sonometer)। ইহাতে দুই রকম ব্যবস্থায় বসান তারই আছে। সেতার, বেহালা প্রভৃতি বাদ্যযন্ত্রে তোমরা লক্ষ্য করিয়াছ কেবল দুই দিকে বাঁধা তার আছে। আবার চিত্র নং 27-এ দেখিবে তিনটি কাঠের টুকরা শক্ত করিয়া যন্ত্রের বোর্ডের



চিত্র নং 32

উপর বসান আছে। তিনটির জায়গায় দুইটি থাকিলেও কোন ক্ষতি নাই। উহাদের নীচের বাহু চওড়া, উপরের বাহু ধারাল। উহাদের উদ্দেশ্য স্পন্দনশীল তারের দৈর্ঘ্যের হ্রাস-বৃদ্ধি করা। দুই টুকরা কাঠের মধ্যে কোন স্থানে তারটিকে দৈর্ঘ্যের লম্বদিকে কিছুটা টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা কিছুক্ষণ বেশ বাজিতে থাকে। কারণ, টানিয়া ছাড়িয়া দেওয়া মাত্র দুই দিকে অনুপ্রস্থ তরঙ্গ ছুটিতে থাকে, কাঠের টুকরায় তার চাপিয়া আছে বলিয়া উহা অতিক্রম করিতে পারে, না। প্রতিফলিত হয় এবং উল্টাদিকে গিয়া অপর টুকরায় আবার প্রতিফলিত হয়। বারংবার প্রতিফলনের ফলে তারের মধ্যে বিপরীতমুখী দুইটি সদৃশ অনুপ্রস্থ তরঙ্গের উপরিপতি হইয়া স্থাণু তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। ঐ তারের মধ্য দিয়া যাইবার সময় উহার বেগ হইবে—

$V=\sqrt{\frac{T}{m}}$ (এখানে T হইতেছে তারের টান (tension) এবং m হইতেছে তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর।)

আবার $V = n\lambda$ (এখানে n হইতেছে তরঙ্গের কম্পাঙ্ক, λ হইতেছে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ।)

$$\therefore \quad n = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

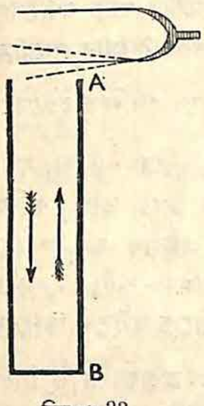
তরঙ্গ হইলেই যে স্থাণু তরঙ্গ স্থায়ীভাবে আসিবে তাহা নহে। এখানে দুই প্রান্ত আটকান ; সুতরাং দুই প্রান্ত নিস্পন্দ বিন্দু। সুতরাং তারটির যদি সর্বাপেক্ষা সহজভাবে স্পন্দন হয় তবে উহার কার্যকর দৈর্ঘ্য l হইবে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের অর্ধেক। বা, $l = \frac{\lambda}{2}$। এখানে পুরা তারটি (বা কার্যকর দৈর্ঘ্য) এক সাথে স্পন্দিত হইতেছে এবং উহাতে স্থাণু তরঙ্গ স্থায়ীভাবে প্রতিষ্ঠিত হইয়াছে বলিয়া তাহা সম্ভব হইতেছে। ঐ কম্পাঙ্কের একটি সুর শলাকা যন্ত্রের বোর্ডের উপর ভাল করিয়া ধরিলে উহাদের মধ্যে **অনুনাদ** (resonance) হইবে। এইবার যদি তারের কার্যকর দৈর্ঘ্য সামান্য বাড়াইয়া দেওয়া হয়, তবে স্থাণু তরঙ্গ ভাঙিয়া যাইবে। ফলে স্পন্দন দ্রুত থামিয়া যাইবে। সুতরাং **স্থাণু তরঙ্গ স্থায়ী করিতে হইলে তারের কার্যকর দৈর্ঘ্য অর্ধ-তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ একটি গুণিতক হওয়া চাই।**

সনোমিটারে দুই দিকে বাঁধা তারও থাকে। আবার একদিকে বাঁধা আর একদিকে ওজন ঝুলান এরূপ তারও থাকে। এই দুইয়ের পার্থক্য এই, শেষোক্ত তারে যে ওজন ঝুলান আছে তাহা হইতে তারের টান (tension) হিসাব করা যায়। কিন্তু প্রথমোক্ত তারে কত টান তাহা হিসাব করা যায় না। যেরূপ তারই হউক না কেন, টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা নানা কম্পাঙ্কে একই সঙ্গে স্পন্দিত হইবে। কিন্তু স্পন্দনের বেগ একই, অর্থাৎ $\sqrt{\frac{T}{m}}$। এই বিভিন্ন কম্পাঙ্ক বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ সৃষ্টি করিবে। এই তরঙ্গগুলি তারের দৈর্ঘ্য অনুসরণ করিয়া দুই দিকেই বারংবার যাইবে ও প্রান্তে প্রতিফলিত হইয়া বিপরীত দিকে যাইবে, আবার ঐ প্রান্ত হইতে প্রতিফলিত হইয়া প্রথম দিকে যাইবে। এই বিপরীতমুখী দুই শ্রেণীর তরঙ্গের উপরিপতি হইবে। তারের কার্যকর দৈর্ঘ্য যে সকল তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের অর্ধেক দৈর্ঘ্যের সমান বা কোন গুণিতক (multiple) সেই তরঙ্গগুলি স্থাণু তরঙ্গের সৃষ্টি করিবে এবং বহুক্ষণ স্থায়ী হইবে। অন্যান্য তরঙ্গ দ্রুত অবমন্দিত হইয়া অদৃশ্য হইয়া যাইবে। এই স্থাণু তরঙ্গের মধ্যে যে স্থাণু তরঙ্গের অর্ধ-দৈর্ঘ্য তারের কার্যকর দৈর্ঘ্যের সমান $\left(\text{বা } l = \frac{\lambda}{2}\right)$ তাহাকে বলে ঐ তারের **মৌলিক প্রণালী** (Fundamental Mode)। অন্যান্য তরঙ্গ দ্বিতীয়, তৃতীয় প্রভৃতি **উচ্চ গ্রামের প্রণালী** (Higher Order Modes)। মৌলিক প্রণালীর তরঙ্গ কম্পাঙ্ক সর্বাপেক্ষা শক্তিশালী ও দীর্ঘস্থায়ী।

বায়ুস্তম্ভের স্পন্দন (Vibrations of Air Columns) : স্থাণু তরঙ্গের আর একটি দৃষ্টান্ত বায়ুস্তম্ভের স্পন্দন। বায়ুস্তম্ভ সাধারণতঃ একটি লম্বা বেলনাকৃতি

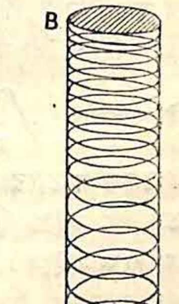
পাত্রে আবদ্ধ বায়ু দ্বারা গঠিত। এই পাত্রের একটি বা দুইটি মুখ খোলা হইতে পারে। দুইটি মুখ খোলা হইলে একটি মুখ বেশ ছোট হওয়া প্রয়োজন।

একমুখ খোলা বায়ুস্তম্ভ (Air Column closed at one end): চিত্র—33-এ ইহা দেখান হইয়াছে। এই বায়ুস্তম্ভকে স্পন্দিত করিতে ইহার খোলা মুখের ঠিক উপরে একটি স্পন্দনশীল সুর শলাকা ধরা হয়। উহার একটি প্রং হইতে নির্গত তরঙ্গ শ্রেণী বায়ুস্তম্ভের বন্ধ মুখে প্রতিফলিত হইয়া আবার খোলা মুখে আসিয়া পৌঁছিবে। এই বিপরীতমুখী দুই তরঙ্গ শ্রেণীর উপরিপতির ফলে যদি স্থাণু তরঙ্গের উদ্ভব হয় তবে উভয়ের মধ্যে **অনুনাদ** (resonance) হইবে এবং তরঙ্গ দীর্ঘস্থায়ী হইবে। এই স্থাণু তরঙ্গ কি সব ক্ষেত্রেই হইবে? না। কারণ, একমুখ খোলা বায়ুস্তম্ভের মধ্যে স্থাণু তরঙ্গ প্রতিষ্ঠিত হইতে হইলে খোলা মুখে সুস্পন্দ বিন্দু এবং বন্ধ মুখে নিস্পন্দ বিন্দু প্রতিষ্ঠিত হইতে হইবে। আবার ভিতরে সুস্পন্দ বা নিস্পন্দ বিন্দু থাকিতে পারে, নাও থাকিতে পারে। যদি না থাকে তবে বুঝিতে হইবে বায়ুস্তম্ভের মৌলিক প্রণালীতে স্পন্দন হইতেছে। যদি বায়ুস্তম্ভের ভিতরে একটি নিস্পন্দ বিন্দুর অস্তিত্ব থাকে, তবে বায়ুস্তম্ভের দ্বিতীয় গ্রামের প্রণালীতে (Second Order Mode) স্পন্দন হইতেছে। অবশ্য উভয় ক্ষেত্রেই অনুনাদ ও স্থাণু তরঙ্গ হইতেছে।



চিত্র নং 33

মৌলিক প্রণালীতে স্পন্দন চিত্র নং 34-এ প্রদর্শিত একটি স্প্রিং-এর স্পন্দনের অনুরূপ। মুখ হইতে সুর শলাকার প্রং-এর ধাক্কায় স্প্রিংটি সংকুচিত হইবে। মুখের পাক সর্বাধিক সংকুচিত হইবে। যত ভিতরে যাওয়া যাইবে ততই পাকের (turn) সংকোচন ক্রমেই কমিবে। বন্ধ মুখের পাক একেবারেই সংকুচিত হইবে না। আবার যখন প্রং বাহিরের দিকে চলিতে থাকিবে তখন সমস্ত পাক একসঙ্গে বাহিরের দিকে উঠিবে; কিন্তু বন্ধ মুখের পাক ভিতরে উঠিবে না। যত ভিতর দিকে যাওয়া যাইবে ততই উপরের পাক বেশী উপরে উঠিবে এবং খোলা মুখের পাক সর্বাধিক উপরে উঠিবে। এই স্প্রিং-এর গতি হইতে এই বায়ুস্তম্ভের স্পন্দনের ধারা স্পষ্ট বুঝা যায়।



চিত্র নং 34

তাহা হইলে এই বায়ুস্তম্ভের মৌলিক প্রণালীতে স্পন্দনের ক্ষেত্রে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য হইবে একটি নিস্পন্দ বিন্দু ও তাহার পার্শ্ববর্তী সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যেকার দূরত্ব, অর্থাৎ যদি ঐ দৈর্ঘ্য হয় l, আর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য হয় λ, তবে $l = \frac{\lambda}{4}$ বা $\lambda = 4l$ ···(3·5·1)

পরবর্তী বা দ্বিতীয় গ্রামের প্রণালীতে স্পন্দন হইলে বায়ুস্তম্ভের ভিতরে একটি নিস্পন্দ বিন্দু থাকিবে ; আর দুই নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে অন্ততঃ একটি সুস্পন্দ বিন্দু থাকিবে। সুতরাং সেরূপ স্পন্দনে—

$$l = \frac{\lambda}{4}+\frac{\lambda}{2}=\frac{3\lambda}{4}$$

$$\text{বা, } \lambda=\frac{4}{3}l \qquad \cdots \quad (3{\cdot}5{\cdot}2)$$

সুতরাং প্রথম ক্ষেত্রে, কম্পাঙ্ক হইবে $n=\frac{V}{\lambda}$ [V = বেগ] $=\frac{V}{4l}$ $\cdots$ (3·5·3)

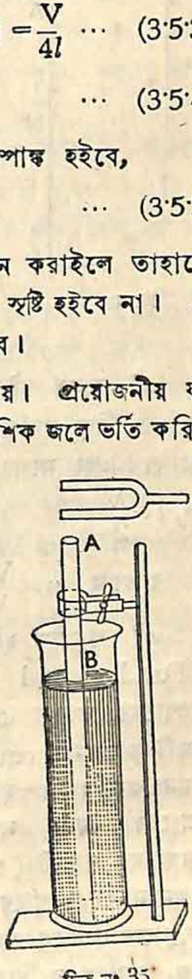
দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, কম্পাঙ্ক হইবে $n_1=\frac{3V}{4l}=3n$ $\cdots$ (3·5·4)

অনুরূপভাবে, ঐ বায়ুস্তম্ভের তৃতীয় গ্রামে স্পন্দন হইলে কম্পাঙ্ক হইবে,

$$n_2=\frac{5V}{4l}=5n \qquad \cdots \quad (3{\cdot}5{\cdot}5)$$

এই কম্পাঙ্ক ব্যতীত অন্য কোন কম্পাঙ্কে বায়ুস্তম্ভের স্পন্দন করাইলে তাহাতে অনুনাদ হইবে না, কষ্টকৃত স্পন্দন হইবে। ফলে স্থাণু তরঙ্গ সৃষ্টি হইবে না। ঐ স্পন্দন দ্রুত **অবদমিত** (damped) হইয়া নিশ্চিহ্ন হইয়া যাইবে।

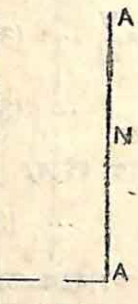
এই তথ্য অনুযায়ী পরীক্ষা দ্বারা তরঙ্গের বেগ বাহির করা যায়। প্রয়োজনীয় যন্ত্র চিত্র নং 35-এ দেখান হইয়াছে। একটি চওড়া পাত্র (B) আংশিক জলে ভর্তি করিয়া তাহার মধ্যে একটি সরু লম্বা নল (A দুই মুখ খোলা) খাড়াভাবে আংশিক ডুবাইয়া রাখা হয়। এই নলটি একটি ক্ল্যাম্পের (clamp) সাহায্যে ধরিয়া রাখা হয়। ইহার ভিতরের বায়ুস্তম্ভের নীচের মুখ জল দ্বারা বন্ধ। B-র উপরে একটি জানা কম্পাঙ্কের স্পন্দনশীল সুর শলাকা রাখিলে সাধারণতঃ কোন শব্দ শুনা যাইবে না। তাহার অর্থ B-র ভিতরে স্থাণু তরঙ্গ প্রতিষ্ঠিত হয় নাই অনুনাদও হয় নাই। এইবার B-কে ধীরে ধীরে উঠাইলে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য ক্রমশঃ বাড়িতে থাকিবে। যখনই বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য সুর শলাকা হইতে নির্গত তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের এক-চতুর্থাংশ হইবে, তখনই স্থাণু তরঙ্গ প্রতিষ্ঠিত হইবে, অনুনাদ হইবে এবং প্রবল শব্দ শোনা যাইবে। তখন B-র উপরের মুখ হইতে ভিতরে জলের লেভল পর্যন্ত মাপিলে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য l পাওয়া যাইবে। এইবার উপরের সমীকরণ (3·5·3), $n=\frac{V}{4l}$, হইতে V-র মান হিসাব করা যাইবে। কারণ, n জানা, আর l পরীক্ষা হইতে বাহির হইল।



চিত্র নং 35

[**লর্ড র্যালে** (Lord Rayleigh) প্রমাণ করেন যে B-নলের খোলা মুখে সুস্পন্দ বিন্দুর অস্তিত্ব থাকে না। যদি ঐ নলের ভিতরে প্রস্থচ্ছেদের ব্যাসার্ধ হয় r_1 তবে খোলা মুখ হইতে $0{\cdot}6r$ দূরে সুস্পন্দ বিন্দুর অবস্থিতি হয়। সুতরাং সমীকরণ 3·5·1 l-এর স্থলে লইতে হইবে, $l+0{\cdot}6r$, ফলে $V=4n(l+0{\cdot}6r)$।]

দুই মুখ খোলা বায়ুস্তম্ভ : যদি উপরের বেলনটির দুই মুখই খোলা হয় তবে তাহাতে আবদ্ধ বায়ু হইবে একটি দুইমুখ খোলা বায়ুস্তম্ভ। দুই মুখই যদি চওড়া হয় তবে দুই প্রান্তে প্রতিফলন ভাল হয় না এবং স্থাণু তরঙ্গ প্রতিষ্ঠিত হয় না। সেইজন্য এক মুখ বেশ সরু করা হয়। এই নলের চওড়া মুখে যদি মুখ দিয়া জোরে ফুঁ দেওয়া হয় বা একটি হাপরের সহিত যুক্ত করিয়া জোরে বাতাস প্রবেশ করান হয় [চিত্র নং 36], তবে বহু কম্পাঙ্কের তরঙ্গ সৃষ্ট হয়। এই তরঙ্গগুলি সরু মুখ হইতে প্রতিফলিত হয়। যে তরঙ্গগুলি ঐ নলে স্থায়ী তরঙ্গ সৃষ্টি করিবে সেই তরঙ্গগুলি স্থায়ী হইবে, অন্যান্য তরঙ্গ দ্রুত অবদমিত হইয়া নিশ্চিহ্ন হইবে। আবার এই স্থাণু তরঙ্গগুলির মধ্যে যেটি ঐ নলের মৌলিক প্রণালীর সেটি প্রবল হইবে। অন্যগুলি থাকিবে কিন্তু খুব ক্ষীণ হইবে।



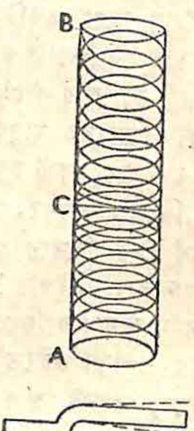
চিত্র নং 36

এই নলের দুই মুখ খোলা এবং বায়ুমণ্ডলের সহিত যুক্ত বলিয়া দুই প্রান্তে সুস্পন্দ বিন্দু স্থাপিত হইবে। সুতরাং নলের মধ্যে অন্ততঃ একটি নিস্পন্দ বিন্দু থাকিবে এবং নলের দৈর্ঘ্য হইবে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের অর্ধেক

বা, $l=\frac{\lambda}{2}$

সুতরাং $n=\frac{V}{\lambda}=\frac{V}{2l}$ ... (3·5·6)

এই কম্পাঙ্ক হইতেছে নলটির **মৌলিক কম্পাঙ্ক** (Fundamental Frequency)। নলের এই কম্পাঙ্কের স্পন্দন একমুখ খোলা নলের স্পন্দনের ন্যায় একটি তুল্যমান (equivalent) স্প্রিংয়ের স্পন্দন হিসাবে কল্পনা করা যায়। ইহা চিত্র 37-এ দেখান হইয়াছে। স্প্রিংয়ের দৈর্ঘ্য নলের দৈর্ঘ্যের সমান। স্প্রিংয়ের মধ্যখানের পাকটি (turn) আটকান, যাহাতে উহাতে স্পন্দন না হইতে পারে; দুই প্রান্ত মুক্ত। এই স্প্রিংয়ের একপ্রান্তে ঘা দিলে সমগ্র স্প্রিংটি স্পন্দিত হইবে। দুই প্রান্ত একসঙ্গে বাহিরের দিকে যাইবে, এবং ভিতরের দিকে ঢুকিবে। উহাদের বিস্তার সর্বাধিক। দুই প্রান্ত হইতে নলের মধ্যদিকে যাইলে ক্রমেই বিস্তার কমিবে এবং মধ্যস্থানে শূন্য বিস্তার হইবে।



চিত্র নং 37

সমীকরণ (3·5·6) বিশ্লেষণ করিলে দেখা যাইবে যে, নলের দৈর্ঘ্য যত বাড়িবে উহার মৌলিক কম্পাঙ্ক তত কমিবে।

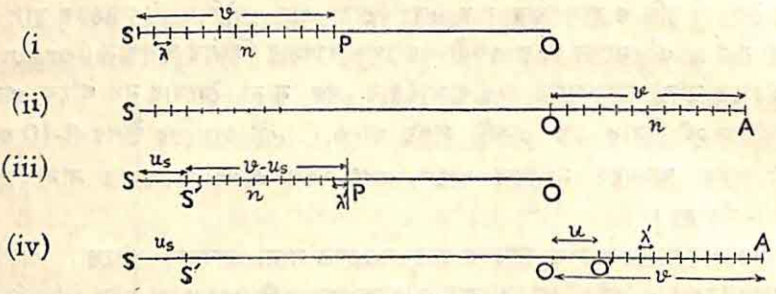
দুইমুখ খোলা বায়ুস্তম্ভের সর্বাপেক্ষা সহজ দৃষ্টান্ত হইল বাঁশী। বাঁশীর গায়ে দৈর্ঘ্য বরাবর কয়েকটি ছিদ্র আছে। ছিদ্রগুলি আঙুল দিয়া বন্ধ করিয়া নলের কার্যকর দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি ও হ্রাস করা যায় এবং তাহা দ্বারা মৌলিক কম্পাঙ্কের হ্রাস ও বৃদ্ধি করা যায়। এই নলের আর একটি গুরুত্বপূর্ণ ব্যবহার গির্জার অর্গান (organ) যন্ত্র। ইহাতে নানা কম্পাঙ্কের স্বর বাজাইবার জন্য নানা দৈর্ঘ্যের নল থাকে এবং সমগ্র যন্ত্রটিতে ফুঁ দিবার জন্য একটি হাপর থাকে। এই হাপরের উপর 8-10 জন লোক দাঁড়াইয়া অনবরত নাচিতে থাকে, এবং ফলে প্রবল ও সুন্দর নানা স্বর একসঙ্গে নির্গত হয়।

তার ও বায়ুস্তম্ভের স্পন্দন ছাড়াও স্থাণু তরঙ্গের নানা ব্যবহার আছে। একটি উল্লেখযোগ্য ব্যবহার হইল আলোকের স্থাণু তরঙ্গের সৃষ্টি এবং তাহা দ্বারা স্বাভাবিক বর্ণের আলোক চিত্র (Colour Photography) গ্রহণ। বিজ্ঞানী **লিপ্‌ম্যান (Lippman)** ইহা আবিষ্কার করিয়াছিলেন।

3.6. ডপ্‌লার তত্ত্ব (Doppler's Principle) : তোমরা অনেকেই ছোট রেল-স্টেশনে একটি ঘটনা লক্ষ্য করিয়াছ। ধর, তুমি প্ল্যাটফরমে দাঁড়াইয়া আছ। দূরে একটি ট্রেন সিগ্‌ন্যালের কাছে সিগ্‌ন্যালের অভাবে দাঁড়াইয়া আছে ও বাঁশী (whistle) বাজাইতেছে। সেই শব্দ তোমার কাণে আসিতেছে এবং তুমি ঐ শব্দের স্বর লক্ষ্য করিয়াছ। তাহার পর হঠাৎ সিগ্‌ন্যাল পাইয়া ট্রেন খুব দ্রুত প্ল্যাটফরমের দিকে আসিতে লাগিল। তখন তুমি লক্ষ্য করিবে, একই বাঁশীর কম্পাঙ্ক বাড়িয়া গিয়াছে এবং স্বর চড়া হইয়াছে। ট্রেনটি না থামিয়া দ্রুত-বেগে প্ল্যাটফরম ও তোমাকে অতিক্রম করিয়া চলিয়া গেল। সঙ্গে সঙ্গে লক্ষ্য করিবে বাঁশীর কম্পাঙ্ক হঠাৎ কমিয়া গিয়া স্বর কোমল হইতেছে। এই ঘটনা লক্ষ্য করিয়া ডপ্‌লার উহার বিশ্লেষণ করেন এবং উহার একটি বিজ্ঞানসম্মত ব্যাখ্যা দেন। ইহাই **ডপ্‌লার তত্ত্ব** নামে খ্যাত।

চিত্র নং 38(i)-এ তরঙ্গ উৎস S বিন্দুতে স্থির হইয়াছে। উহা হইতে ক্রমাগত তরঙ্গমালার নির্গমন হইতেছে ; তাহার কম্পাঙ্ক n প্রতি সেকেণ্ড, বেগ v প্রতি সেকেণ্ড এবং তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ। ধর, 1 সেকেণ্ড পরে প্রথম তরঙ্গশীর্ষ v দূরত্ব অতিক্রম করিয়া P-তে পৌঁছাইল। তাহা হইলে $SP=v$ দূরত্ব n সংখ্যক তরঙ্গ দ্বারা ভর্তি হইল। সমস্ত শীর্ষই v বেগে চলিতে থাকিবে এবং অবশেষে প্রথম শীর্ষ O-তে পৌঁছাইবে। তাহার 1 সেকেণ্ড পরে ঐ শীর্ষ A-তে পৌঁছাইবে এবং $OA=v$ দূরত্ব n সংখ্যক তরঙ্গে (প্রত্যেকের দৈর্ঘ্য λ) ভর্তি হইবে [চিত্র নং 38 (ii)]। তাহা হইলে 1 সেকেণ্ডে n সংখ্যক তরঙ্গশীর্ষ তোমার কাণকে আঘাত করিয়াছে এবং তুমি যে শব্দ শুনিয়াছ তাহার কম্পাঙ্ক n প্রতি সেকেণ্ড।

এইবার চিত্র নং 38 (iii) লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে। S হইতে n কম্পাঙ্কের তরঙ্গমালা নির্গত হইতেছে। প্রথম শীর্ষ 1 সেকেণ্ড পরে P-তে আসিবে এবং SP = v দূরত্ব মনে কর, তরঙ্গ উদ্গীরণ করিবার সঙ্গে সঙ্গে উৎস O-র দিকে u_s বেগে ছুটিতেছে। তাহা হইলে 1 সেকেণ্ড পরে উৎসটি u_s দূরত্ব অতিক্রম করিয়া S′ বিন্দুতে



চিত্র 38

আসিবে এবং SS′ = u_s। তাহা হইলে S′P বা ($v-u_s$) দূরত্ব ঐ n সংখ্যক শীর্ষ ধারণ করিবে। ফলে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ছোট হইয়া যাইবে। ধর, λ'।

তাহা হইলে $v-u_s=n\lambda'$.

বা, $$\lambda'=\frac{v-u_s}{n} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (3{\cdot}6{\cdot}1)$$

এই শীর্ষগুলি কাছাকাছি হইলেও নির্গত হইয়া সকলেই v বেগে চলিতে থাকিবে। প্রথম শীর্ষটি O-তে পৌছিবে এবং তাহার পরবর্তী সমস্ত শীর্ষই O-কে অতিক্রম করিয়া আগাইয়া যাইবে। 1 সেকেণ্ড পরে প্রথম শীর্ষ A-তে পৌছাইবে এবং OA $=v$। মনে কর, তুমিও একই দিকে u বেগে দৌড়াইতেছ এবং 1 সেকেণ্ড পরে O′-এ আসিয়া পৌছাইয়াছ [চিত্র নং 38 (iv)। সুতরাং OO′ $=u$ এবং AO′ $=v-u$। তাহা হইলে 1 সেকেণ্ডে যতগুলি শীর্ষ বিন্দু (বা তরঙ্গ) তোমার কানে আঘাত করিয়াছে তাহারা AO′ বা ($v-u$) দূরত্ব ভর্তি করিয়া আছে। এই তরঙ্গমালার দৈর্ঘ্য বা পর পর দুইটি তরঙ্গ শীর্ষের অন্তবর্তী দূরত্ব সমীকরণ (3·6·1) অনুযায়ী $\frac{v-u_s}{n}$। যদি 1 সেকেণ্ডে তোমার কানে n' সংখ্যক শীর্ষ আঘাত করিয়া থাকে, তবে—

$$n'\times\frac{v-u_s}{n}=v-u$$

বা, $$n'=n\times\frac{v-u}{v-u_s} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (3{\cdot}6{\cdot}2)$$

এই নির্গত তরঙ্গমালার যে কম্পাঙ্ক তোমার কানে বাজিবে তাহা এই n'। যদি তুমি উল্টাদিকে দৌড়াও তবে কম্পাঙ্ক হইবে—

$$n'=n\times\frac{v+u}{v-u_s} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (3{\cdot}6{\cdot}3)$$

ধরিয়া লওয়া যাইতে পারে যে, যে মাধ্যমে তরঙ্গ চলিতেছে তাহা স্থির। যদি তাহা না হইয়া উহা তরঙ্গের চলিবার দিকেই W বেগে চলে তবে v-র জায়গায় লিখিতে হইবে $v+W$ এবং সমীকরণ (3·6·2) হইবে—

$$n' = n \times \frac{v+W-u}{v+W-u_s} \quad \cdots \quad \cdots \quad (3{\cdot}6{\cdot}4)$$

প্রশ্নাবলী

1. তরঙ্গের উপরিপতি কাহাকে বলে? উপরিপতির ফল কি কি হইতে পারে তাহা চিত্রের সাহায্যে দেখাও।

2. ব্যতিচার ও স্থাণু তরঙ্গ—এই দুইয়ের মধ্যে পার্থক্য কি?

3. অধিকম্প ও স্থাণু তরঙ্গ—এই দুইয়ের মধ্যে পার্থক্য কি? অধিকম্প সৃষ্টি করিয়া কি পরিমাপ করা যায়?

4. স্থাণু তরঙ্গ কাহাকে বলে? কি করিয়া উহা সৃষ্টি করা যায়? নিস্পন্দ ও সুস্পন্দ বিন্দু কাহাকে বলে? উহাদের অবস্থান হইতে কি বাহির করা যায়? স্থাণু তরঙ্গের কয়েকটি উদাহরণ দাও।

5. একমুখ খোলা ও দুইমুখ খোলা বায়ুস্তম্ভের স্পন্দনের মধ্যে পার্থক্য কি? নলের মৌলিক কম্পাঙ্ক কি? আর কি কম্পাঙ্ক আছে?

6. দুইটি সুর শলাকা একসঙ্গে বাজাইলে প্রতি সেকেণ্ডে 4টি অধিকম্প সৃষ্টি হয়। নির্দিষ্ট টানে আটকান একটি তারের 96 সে. মি. কার্যকর দৈর্ঘ্য উহাদের একটির সহিত অনুনাদ সৃষ্টি করে। আর একই তারের 97 সে. মি. কার্যকর দৈর্ঘ্য অপরটির সহিত অনুনাদ সৃষ্টি করে। সুর শলাকা দুইটির কম্পাঙ্ক কত?

7. ডপ্‌লার তত্ত্ব কাহাকে বলে? ডপ্‌লার তত্ত্বের সমীকরণ বাহির কর?

8. যখন একটি এরোপ্লেন দূর হইতে মাথার উপর আসিতে থাকে তখন তাহার একরকম শব্দ; সেই এরোপ্লেনই যখন দূরে চলিয়া যায় তখন তাহার আর একরকম শব্দ। ইহার কারণ কি চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও।

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

শব্দ-তরঙ্গ
(Sound-Waves)

4·1. শব্দ-তরঙ্গের প্রকৃতি : শব্দের সহিত তোমাদের পরিচয় জন্ম হইতেই। লক্ষ্য করিয়াছ, শব্দের উৎপত্তি একস্থানে, সেখান হইতে একটি মাধ্যমের মধ্য দিয়া কান পর্যন্ত শব্দের ভ্রমণ, এবং অবশেষে কান দিয়া শ্রবণ। শব্দের উৎস নানা রকমের হইতে পারে। একটি ঘণ্টা বাজিতেছে। একটি তবলা বা একটি সেতার বা কোন-তারের যন্ত্র বাজান হইতেছে, একজন কথা বলিতেছে—সবই শব্দের উৎস। তোমরা নিশ্চয়ই লক্ষ্য করিয়াছ, সমস্ত শব্দের উৎস স্পন্দনশীল। যতক্ষণ স্পন্দন হইতেছে ততক্ষণ শব্দ শোনা যাইতেছে। স্পন্দন বন্ধ করিলে শব্দও আর থাকে না। সুতরাং শব্দের উৎস হইতেছে উৎস বস্তুর স্পন্দন বা পর্যাবৃত্ত আন্দোলন।

এই স্পন্দনের প্রভাবে পার্শ্ববর্তী মাধ্যমে (কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় মাধ্যমে) অনুরূপ আন্দোলনের সৃষ্টি হয়। ফলে তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। এই তরঙ্গ মাধ্যমের মধ্য দিয়া চতুর্দিকে সরলরেখা ধরিয়া চালিত হয়। সুতরাং কানের পর্দায় ইহা পর্যাবৃত্ত ধাক্কার সৃষ্টি করে। কানের পর্দার এই আন্দোলন স্নায়ুতন্ত্রের সূত্রে মস্তিষ্কে পৌঁছায় এবং শব্দের অনুভূতি সৃষ্টি করে।

এইবার সমস্ত বিষয়টি আবার চিন্তা কর। মাধ্যমের উপর শব্দের উৎস ধাক্কা দেওয়ায় উৎসের সংলগ্ন অঞ্চলের মাধ্যমে **সংনমনের** (compression) সৃষ্টি হয়। সব পদার্থই স্থিতিস্থাপক। মাধ্যমও স্থিতিস্থাপক। কিছুটা সংনমনের পরেই মাধ্যমের ঐ স্তর স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া আসে। উৎসের ধাক্কাও স্থায়ী নয়, উহার পর্যাবৃত্ত আন্দোলনের একটি দশা মাত্র। ফলে মাধ্যমের ঐ স্তর ভিন্ন ভিন্ন দশায় আসিতে থাকে কিন্তু স্থিতিস্থাপকতার জন্য যখন প্রথম স্তর সংনমন হইতে স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া আসে, তখন প্রথম স্তরের সংনমনের প্রভাবে পরবর্তী দ্বিতীয় স্তরে সংনমনের সৃষ্টি হয়। তাহার পরেই প্রথম স্তরে **তনুভবনের** (rarefaction) দশা আসে, দ্বিতীয় স্তরে স্বাভাবিক অবস্থা, তৃতীয় স্তরে সংনমন। এইভাবে উৎসের বিভিন্ন দশা তরঙ্গ আকারে মাধ্যমের মধ্য দিয়া একটি নির্দিষ্ট গতিতে চলিতে থাকে। এ সম্বন্ধে দ্বিতীয় পরিচ্ছেদে অনুদৈর্ঘ্য ও অনুপ্রস্থ তরঙ্গের প্রসঙ্গে আলোচনা করা হইয়াছে।

উপরের বিশ্লেষণ হইতে এখন তোমরা বুঝিবে যে, শব্দ-তরঙ্গের উৎপত্তি ও তাহার এক স্তর হইতে আর এক স্তরে ভ্রমণ ঐ মাধ্যমের স্থিতিস্থাপক ধর্মের জন্যই সম্ভব। ইহা কেবল গ্যাসীয় মাধ্যম নয়, তরল ও কঠিন মাধ্যমের ক্ষেত্রেও সমানভাবে সত্য। সেইজন্য **সমস্ত শব্দ-তরঙ্গকে বলা হয় স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ।**

4·2. শব্দের বেগ : যে কোন মাধ্যমে শব্দের একটি নির্দিষ্ট বেগ আছে (একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায়)। এই বেগ মাধ্যমের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক ও ঘনত্বের উপর নির্ভরশীল। 1738 সালে শব্দের বেগ মুক্ত বায়ুতে প্রথম নির্ণয় করা হয়। এই পরীক্ষা পদ্ধতি নিম্নরূপ—

প্রথমে দুইটি পাহাড়ের চূড়া নির্বাচন করা হয় এবং দুই চূড়ার সরল দূরত্ব পরিমাপ করা হয়। তাহার পর এক চূড়ায় একজন একটি বন্দুক ছোঁড়ে। অপর চূড়ার দর্শক অগ্নিশিখা দেখামাত্র একটি স্টপ ওয়াচ খুলিয়া দেয় এবং বন্দুকের আওয়াজ শুনামাত্র স্টপ ওয়াচ বন্ধ করে। আলোকের বেগ অত্যন্ত বেশী। প্রায় 1,86,000 মাইল প্রতি সেকেণ্ডে। ফলে দ্বিতীয় চূড়ার দর্শক বন্দুক ছুঁড়িবার সঙ্গে সঙ্গেই অগ্নিশিখা দেখিতে পায় এবং ঘড়ি চালাইয়া দেয়। সুতরাং স্টপ ওয়াচে যে সময়ের নির্দেশ পাওয়া গেল (ধর, t সেকেণ্ড) সেই সময়ে শব্দ প্রথম চূড়া হইতে দ্বিতীয় চূড়াতে গিয়াছে। যদি এই দূরত্ব হয় d সে. মি., তবে শব্দের বেগ হইবে—

$$\mathrm{V}=\frac{d}{t} \text{ সে. মি. প্রতি সেকেণ্ড।}$$

এই পদ্ধতিতে কয়েকটি ভুল হইবার সম্ভাবনা আছে।

(i) উপরের আলোচনায় ধরিয়া লওয়া হইয়াছে, বায়ু গতিহীন। সাধারণতঃ তাহা হয় না। যদি শব্দ-সঞ্চালনের দিকেই বায়ুর গতি থাকে, তবে শব্দ-তরঙ্গ নিজ বেগের জন্য যে সময়ে দ্বিতীয় চূড়ায় আসিবে বায়ুস্রোতের জন্য তাহার আগেই চলিয়া আসিবে। সুতরাং উপরের পদ্ধতি অনুযায়ী শব্দের বেগ বলিয়া যাহা পাওয়া যাইবে, শব্দের প্রকৃত বেগ তাহা অপেক্ষা কিছু কম হইবে। আবার শব্দ-সঞ্চালনের বিপরীত দিকে যদি বায়ুর গতি থাকে, তবে উপরের পদ্ধতি অনুযায়ী শব্দের বেগ বলিয়া যাহা বাহির হইবে প্রকৃত বেগ তাহা অপেক্ষা কিছু বেশী হইবে। এই অনিশ্চিত ভুল দূর করিবার জন্য উপরে বিবৃত পরীক্ষা করিবার পর সেই পরীক্ষাই উলটাদিকে করা হয়—অর্থাৎ দ্বিতীয় চূড়ার দর্শক বন্দুক ছুঁড়িবে এবং প্রথম চূড়ার দর্শক তাহার অগ্নিশিখা দেখিয়া স্টপ ওয়াচ খুলিবে ও আওয়াজ শুনিয়া বন্ধ করিবে এবং কত সময় লাগিল তাহা হিসাব করিয়া বাহির করিবে।

মনে কর, শব্দের বেগ $=\overline{\mathrm{V}}$

বায়ুর বেগ যাহাই হউক না কেন, দুই চূড়ার যোগকারী রেখার দিকে উহার বিয়োজিত (resolved along the direction of the straight line joining the two peaks) অংশ $=\bar{v}$

এক পরীক্ষায় নির্ণীত সময় $=t_1$

অপর " " $=t_2$

যদি দুই চূড়ার মধ্যবর্তী সরল দূরত্ব হয় d, তবে এক পরীক্ষায় শব্দ এই দূরত্ব

$(\overline{V}+\overline{V})$ বেগে অতিক্রম করিয়াছে এবং অপর পরীক্ষায় $(\overline{V}-\overline{V})$ বেগে অতিক্রম করিয়াছে।

$$\therefore\ \overline{V}+\nu=\frac{d}{t_1}$$

$$\overline{V}-\bar{\nu}=\frac{d}{t_2}$$

$$\therefore\ \overline{V}=\frac{d}{2}\left(\frac{1}{t_1}+\frac{1}{t_2}\right)$$

(ii) উপরের আলোচনায় ধরিয়া লওয়া হইয়াছে যে অগ্নিশিখা দেখামাত্র (বা অগ্নিশিখার আলোক দ্বিতীয় চূড়াতে পৌছান মাত্র) দর্শক স্টপ ওয়াচ চালাইয়া দেয়। কিন্তু সূক্ষ্মভাবে বিচার করিলে বুঝা যায় ইহা সম্ভব নয়। কারণ, আলোক-রশ্মি চোখে পড়িয়া স্নায়ুতে আঘাত করিবে, সেই আঘাত মস্তিষ্ক উপলব্ধি করিবে এবং তাহার পর দর্শকের হাত স্টপ ওয়াচকে চালাইতে সামান্য কিছু সময় লাগিবেই। কত সময় লাগিবে তাহাও অনিশ্চিত। আবার বন্দুকের আওয়াজ শুনিয়া স্টপ ওয়াচ বন্ধ করিতে কিছু সময় লাগিবে। যদি উভয় ক্ষেত্রে সমান সমান সময় লাগিত তাহা হইলে পরীক্ষার হিসাবে কোনও ভুল থাকিত না। কিন্তু দর্শনেন্দ্রিয় কার্যকর হইতে যে সময় লয়, শ্রবণেন্দ্রিয় কার্যকর হইতে তাহা অপেক্ষা বেশী সময় লয়। ফলে এই পরীক্ষার পাঠ (reading) লইয়া উহা হইতে শব্দের বেগ নির্ণয় করিলে সামান্য ভুল থাকিয়া যাইবেই। আবার ভিন্ন ভিন্ন ব্যক্তির কাছে এই ভুলের পরিমাণও ভিন্ন ভিন্ন হইবে। অবশ্য এই ভুল আধুনিক যন্ত্রপাতির সাহায্যে দূর করা সম্ভব হইয়াছে। অগ্নিশিখা দেখিবার মুহূর্তে ঘড়ি চালনা ও শব্দ শুনামাত্র ঘড়ি বন্ধ করার কাজ এমন যন্ত্রের সাহায্যে করা হয় যাহাতে মানুষের ইন্দ্রিয় তৎপরতার উপর নির্ভরশীল হইতে না হয়।

ফল—বহু বিজ্ঞানীর দ্বারা কৃত পরীক্ষার ফল তুলনা করিয়া দেখা গিয়াছে—

(i) 0°C সেন্টিঃ উষ্ণতায় শুষ্ক বায়ুতে শব্দের বেগ 332 মিটার প্রতি সেকেণ্ড।

(ii) কেবল চাপ বদলাইলে শব্দের বেগের কোন হ্রাসবৃদ্ধি হয় না।

(iii) কেবল উষ্ণতা বৃদ্ধিতে (বা হ্রাসে) শব্দের বেগ বৃদ্ধি (বা হ্রাস) পায়।

(iv) শুষ্ক বায়ু অপেক্ষা আর্দ্র বায়ুতে শব্দের বেগ বেশী।

4·3. **শব্দের বেগ সম্পর্কে নিউটনের সূত্র :** পূর্বে আলোচনা করা হইয়াছে, শব্দ-তরঙ্গ যে মাধ্যমের স্তরের পর স্তরকে আন্দোলিত করিয়া অগ্রসর হয় তাহার কারণ ঐ মাধ্যমের স্থিতিস্থাপকতা। যে-কোনও স্তর আন্দোলিত হইলেই সেই আন্দোলনের গতি পরের স্তরে পৌছায়। মাধ্যমের স্থিতিস্থাপকতা যদি বেশী হয় তবে সামান্য আন্দোলনে বেশী বলের (বা পীড়নের) সৃষ্টি হইবে। এই বল ঐ স্তরের যে ভর তাহা অনুযায়ী ত্বরণ সৃষ্টি করিবে। সুতরাং মোটামুটি আশা করা যায়, মাধ্যমের স্থিতিস্থাপকতা বেশী হইলে এবং ঘনত্ব (density) কম হইলে শব্দ-তরঙ্গ দ্রুত

অগ্রসর হইবে, বা ঐ মাধ্যমে শব্দের বেগ অধিক হইবে। নিউটন সূক্ষ্ম গাণিতিক হিসাব করিয়া দেখান যে, কোনও মাধ্যমে শব্দের বেগ হইবে—

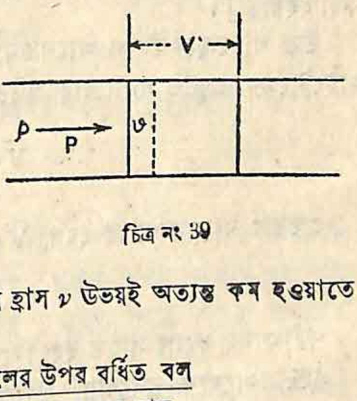
$\bar{V}=\sqrt{\frac{E}{\rho}}$; এখানে E হইতেছে স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক, ρ হইতেছে ঘনত্ব। ... ... (4·3·1)

এই সমীকরণ সকল প্রকার মাধ্যমের বেলায়ই (কঠিন, তরল ও গ্যাসীয়) প্রযোজ্য।

তবে, গ্যাসীয় ও তরল মাধ্যমের নিজস্ব আকার নাই বলিয়া কোনও স্থানে বল প্রয়োগ করিলে উহার চতুর্দিকে বিস্তার হইবার বা আয়তন বদলাইবার প্রবণতা হয়। সুতরাং এখানে E হইবে ঐ মাধ্যমের স্থিতিস্থাপক আয়তন গুণাঙ্ক (Bulk Modulus of Elasticity), K (স্থিতিস্থাপকতা পৃঃ 118 দ্রষ্টব্য)।

$$\therefore \quad \bar{V}=\sqrt{\frac{K}{\rho}};$$

চিত্র নং 42এ দেখান হইয়াছে একটি একক প্রস্থচ্ছেদ (unit cross-section)-এর V আয়তনবিশিষ্ট বায়ুর স্তর। ধর, উহার চাপ হইতেছে, P। শব্দ-তরঙ্গের পৌছানর ফলে আগের স্তর হইতে ঘনীভবন (compression)-এর ফলে উহার চাপ সামান্য বৃদ্ধি পাইবে, ধর p। ফলে চিত্র নং 42-এর স্তর ঘনীভূত হইয়া, ধর $V-v$ আয়তন, পাইবে। বয়েলের সূত্রানুযায়ী—



চিত্র নং 39

$$P.V=(P+p)(V-v)$$
$$=P.V+p.V-P.v-p.v$$

$\therefore\ pV=.Pv$, কারণ চাপবৃদ্ধি p ও আয়তন হ্রাস v উভয়ই অত্যন্ত কম হওয়াতে উহাদের গুণফল নগণ্য হইবে।

$$\text{বা, } P=\frac{p}{v/V}=\frac{\text{প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর বর্ধিত বল}}{\text{প্রতি একক আয়তনে আয়তনের হ্রাস}}$$

$$=\frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}}=\text{স্থিতিস্থাপক আয়তন গুণাঙ্ক, K}$$

$$\therefore \quad \bar{V}=\sqrt{\frac{P}{\rho}} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (4·3·2)$$

4·4. গ্যাসীয় মাধ্যমে নিউটনের সূত্রে ভুল এবং লাপলাস (Laplace) কর্তৃক তাহার সংশোধন: নিউটনের সূত্রানুযায়ী, গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দের বেগ $=\bar{V}=\sqrt{\frac{P}{\rho}}$ এই সমীকরণে বায়ুর সাধারণ চাপ ও ঘনত্বের মান বসাইলে—

$$V=\sqrt{\frac{76\times13{\cdot}6\times981}{0{\cdot}001293}}$$ সে. মি. প্রতি সেকেণ্ডে

= 280 মিটার/সেকেণ্ড।

কিন্তু পরীক্ষার দ্বারা লব্ধ ফল হইতেছে, 332 মিটার/সেকেণ্ড (প্রায়)। এতটা ব্যবধান পরীক্ষার কোন ত্রুটির জন্য হইতে পারে না। সুতরাং নিউটনের যুক্তিতে কোন ভুল আছে। এই ভুল প্রথম বাহির করেন **লাপ্‌লাস** (Laplace)।

লাপ্‌লাসের সংশোধন : লাপ্‌লাস সন্দেহ করেন যে নিউটনের সূত্র বাহির করিতে যে সংনমন ও উহাতে বয়েলের সূত্র প্রয়োগ করা হইয়াছে তাহা যুক্তিযুক্ত নহে। যদি সংনমনের ফলে উষ্ণতার পরিবর্তন না হয়, তবেই বয়েলের সূত্র প্রয়োগ করা যাইতে পারে। কিন্তু শব্দ-তরঙ্গের আঘাতের ফলে বায়ুস্তরে যে সংনমন হয় তাহা আকস্মিক ও ক্ষণস্থায়ী। ফলে এই সংনমন **রুদ্ধতাপ** (adiabatic) অবস্থায় হয়, এবং উষ্ণতা সামান্য বৃদ্ধি পায়। আবার, পরবর্তী তনুভবনে (rarefaction) উষ্ণতা সামান্য হ্রাস পায়। ইহার উপর নির্ভর করিয়া লাপ্‌লাস গাণিতিক হিসাব করিয়া দেখান যে, $K=\gamma P$; এখানে γ হইতেছে $\frac{C_p}{C_v}$ [তাপবিদ্যার ষষ্ঠ পরিচ্ছেদে এ সম্বন্ধে আলোচনা করা হইয়াছ]।

উক্ত পরিচ্ছেদে ইহাও আলোচনা করা হইয়াছে যে, দুই পরমাণুবিশিষ্ট অক্সিজেন, নাইট্রোজেন প্রভৃতি গ্যাস দ্বারা গঠিত বায়ুর ক্ষেত্রে $\gamma=1{\cdot}41$

$$\therefore \quad V=\sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \qquad \cdots \qquad (4{\cdot}4{\cdot}3)$$

সুতরাং বায়ুতে শব্দের বেগ, $V=\sqrt{\frac{1{\cdot}41P}{\rho}}=\sqrt{1{\cdot}41}\times280$

= 332 মিটার/সেকেণ্ড (প্রায়)।

পরীক্ষালব্ধ ফলের সহিত ইহা বিশেষ সামঞ্জস্যপূর্ণ।

4·5. শব্দের বেগের উপর গ্যাসের চাপ, উষ্ণতা ও আর্দ্রতার প্রভাব :

(a) **চাপ :** যদি কোন গ্যাসের কেবল চাপই বদলায় তবে তাহার সহিত ঘনত্বও একই অনুপাতে বদলাইবে। ফলে সমীকরণ (4·3·3) অনুসারে ঐ গ্যাসে শব্দের বেগ অপরিবর্তিত থাকিবে।

(b) **উষ্ণতা :** যদি কেবলমাত্র উষ্ণতা বদলায় (চাপ অপরিবর্তিত থাকিয়া) তবে যে কোন ভরের গ্যাসের আয়তন চার্লস্ সূত্র অনুযায়ী বাড়িবে, এবং ফলে ঘনত্ব কমিবে। সুতরাং ঐ গ্যাসে শব্দের বেগ বাড়িবে।

ধর, 0°C উষ্ণতায় শব্দের বেগ V_o,

t°C উষ্ণতায় শব্দের বেগ V_t ;

এবং ঐ ঐ উষ্ণতায় বায়ুর ঘনত্ব যথাক্রমে ρ_o, ρ_t।

যদি বায়ুর চাপ হয় P, তবে—

$$\overline{V}_o=\sqrt{\frac{\gamma P}{P_o}} \quad \text{এবং} \quad \overline{V}_t=\sqrt{\frac{\gamma P}{P_t}}$$

$$\therefore \quad \frac{\overline{V}_c}{\overline{V}_o}=\sqrt{\frac{P_o}{P_t}}$$

কিন্তু $P_o=P_t(1+\alpha t)^{\frac{1}{2}}$ [এখানে α = ·00366 প্রতি °C]

$$\therefore \quad \frac{\overline{V}_t}{\overline{V}_o}=\sqrt{1+\alpha t}=(1+\alpha t)^{\frac{1}{2}}$$

$=1+\frac{1}{2}\alpha t+$ অন্যান্য রাশি, যাহাতে α-র ঘাত (power) এবং ততোধিক

$=1+\frac{1}{2}\alpha t$ [কারণ, α এত ক্ষুদ্র যে $\alpha^2t^2,\cdots\cdots$ নগণ্য]

$=1+0{\cdot}00183t$ ... ... (4·5·1)

দ্রষ্টব্য ঃ যদি উষ্ণতা বৃদ্ধি (বা হ্রাস), অর্থাৎ t, বেশী হয় যাহাতে α^2t^2, $\alpha^3t^3,\cdots$ প্রভৃতি রাশি নগণ্য থাকে না, তবে সমীকরণ (4·5·1) আর প্রযোজ্য হয় না। তখন এইভাবে অগ্রসর হইতে হয়, যথা—

$$\frac{\overline{V}_t}{\overline{V}_o}=\sqrt{\frac{P_o}{P_t}}=\sqrt{\frac{T}{T_o}}$$ [ঘনত্ব দ্বারা চার্লস্‌ সূত্রের প্রকাশ অনুসারে]

এখানে T হইতেছে t°C-এর চরম মান।

এবং T_o হইতেছে 0°C-এর চরম মান।

(c) **আর্দ্রতার প্রভাব ঃ** একই উষ্ণতা ও চাপে কোন নির্দিষ্ট আয়তনের শুষ্ক বায়ু অপেক্ষা সমান আয়তনের জলীয় বাষ্পের ভর কম ; অর্থাৎ একই অবস্থায় শুষ্ক বায়ু অপেক্ষা জলীয় বাষ্প বা জলীয় বাষ্প মিশ্রিত (আর্দ্র) বায়ুর ঘনত্ব কম। সুতরাং শেষোক্ত মাধ্যমে শব্দের বেগ বেশী।

4·6. **কঠিন ও তরল মাধ্যমে শব্দের বেগ ঃ** উপরে দেখিয়াছ, নিউটনের প্রাথমিক সূত্র, $\overline{V}=\sqrt{\frac{E}{\rho}}$, সকল মাধ্যমের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য।

গ্যাসের ন্যায় তরলের নিজস্ব আকৃতি নাই। একস্থানে চাপ প্রয়োগ করিলে উহার ভিতরে চতুর্দিকে এই বর্ধিত চাপ **প্যাস্কালের** সূত্র অনুযায়ী ছড়াইয়া পড়ে। সুতরাং তরলের কোন স্থানে চাপ প্রয়োগ করিলে উহার আয়তন সঙ্কুচিত হয়। সেইজন্য **নিউটনের** সূত্রের E তরলের বেলায় উহার স্থিতিস্থাপক আয়তন গুণাঙ্ক (Bulk Modulus of Elasticity) K-কেই বুঝায়।

$$\therefore \quad \overline{V}=\sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

জলের ক্ষেত্রে 15°C উষ্ণতায় $K=2{\cdot}23\times10^{10}$ ডাইন/বর্গ সে. মি., এবং $\rho=1$ গ্রাম/ঘন সে. মি.

$$\therefore\ \bar{V}=\sqrt{\frac{2{\cdot}23\times10^{10}}{1}}=1{,}500 \text{ মিটার/সেকেণ্ড।}$$

সুতরাং জলে শব্দের বেগ বায়ুতে শব্দের বেগ অপেক্ষা অনেক বেশী। জলে শব্দের বেগ প্রথমে সূক্ষ্মভাবে জেনেভা হ্রদে পরিমাপ করা হয় এবং উহাতে প্রাপ্ত ফল উপরের হিসাবের দ্বারা লব্ধ ফলের প্রায় সমান।

কঠিন মাধ্যম : কঠিন মাধ্যমের নিজস্ব আকৃতি আছে। উহাতে কোন দিকে বল প্রয়োগ করা হইলে অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি ও পীড়ন সৃষ্ট হয়। সুতরাং কঠিন মাধ্যমে E হইতেছে উহার ইয়ং গুণাঙ্ক Y।

ইস্পাতের, $Y=2{\cdot}14\times10^{12}$ ডাইন/বর্গ সে. মি.

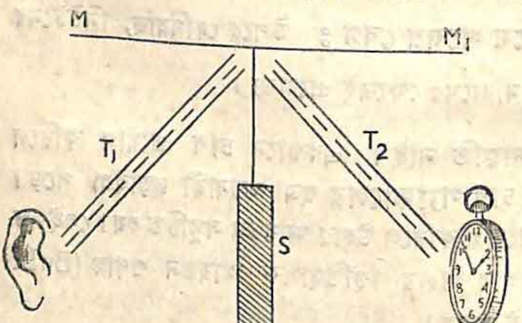
$\rho=7{\cdot}6$ গ্রাম/ঘন সে মি.

$$\therefore\ \bar{V}=\sqrt{\frac{2{\cdot}14\times10^{12}}{7{\cdot}6}}=5{,}300 \text{ মিটার/সেকেণ্ড।}$$

ইহা বায়ু বা জলে শব্দের বেগ অপেক্ষা অনেক বেশী।

4·6. শব্দের প্রতিফলন, প্রতিসরণ ইত্যাদি :

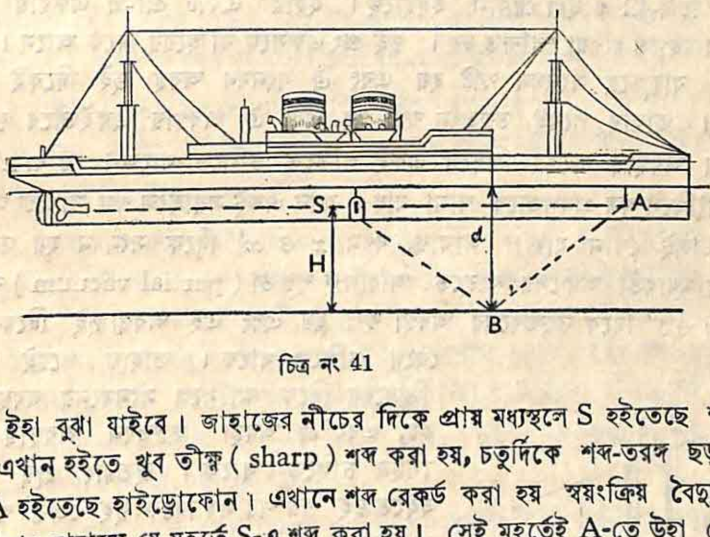
শব্দের প্রতিফলন : দ্বিতীয় পরিচ্ছেদে আলোচনা করা হইয়াছে যে কোন সমসত্ত্ব (homogeneous) মাধ্যমে তরঙ্গ ঋজুরেখ অনুসারী। মাধ্যম পাল্টাইলে দুই মাধ্যমের সীমানা পৃষ্ঠে প্রতিফলন ও প্রতিসরণ হয়। যদি দ্বিতীয় মাধ্যমে ঐ তরঙ্গ সঞ্চালিত হইতে না পারে তবে প্রতিসরণ আর হয় না, কেবল প্রতিফলন হয়। শব্দ-তরঙ্গের বেলায়ও ঠিক একই রকম ঘটনা ঘটে। এই দ্বিতীয় মাধ্যমটি একটি প্রতিফলকের কাজ করে। আলোকও প্রতিফলকের উপরে পড়িলে প্রতিফলিত হয়। প্রতিফলকের খুব মসৃণ হওয়া প্রয়োজন। তবেই নিয়মিত প্রতিফলন হইতে পারে। কিন্তু শব্দ-তরঙ্গের দৈর্ঘ্য অনেক বেশী বলিয়া ইহার প্রতিফলক অত মসৃণ না হইলেও চলে। একটি কার্ডবোর্ড টুকরা শব্দের খুব ভাল প্রতিফলক হইতে পারে।



চিত্র নং 40

চিত্র নং 40-এ MM_1 একটি শব্দের প্রতিফলক। ইহা খাড়াভাবে টেবিলের উপর রাখা হইয়াছে। ইহার সামনে দুইটি সরু টিনের নল T_1, T_2 তির্যক-ভাবে রাখা আছে। প্রতি নল প্রায় এক মিটার লম্বা ও 7 বা 8 সে. মি. ব্যাসের।

নল দুটি এমনভাবে রাখা হইয়াছে যে, উহাদের দুই অক্ষরেখা বাড়াইলে M M_1-এর একটি বিন্দুতে ছেদ করে, আর উভয় নলের অক্ষরেখা প্রতিফলকের ঐ বিন্দুতে একটি লম্ব টানিলে তাহার সহিত একই কোণ অন্তর্ভুক্ত করে। এবার একটি নলের মুখে একটি ঘড়ি ও অপর নলের মুখে কেহ কান পাতিয়া রাখিলে টিক্ টিক্ শব্দটি অতি পরিষ্কার শোনা যায়। দুই নলের মধ্যে একটি পর্দা (S) এমনভাবে রাখা হয় যাতে শব্দ সোজাসুজি কানে না পৌছিতে পারে। এবার T_1 নলটি একটু ঘুরাইয়া দিলে শব্দ হঠাৎ অত্যন্ত কমিয়া যায়। ইহা হইতেই শব্দের প্রতিফলন ও তাহার নিয়ন্ত্রক নিয়ম সম্বন্ধে ধারণা আসে। কথন নল (Speaking Tube), ষ্টেথস্কোপ (Stethoscope), কর্ণভেরী (eart trumpet) প্রভৃতি যন্ত্র শব্দের প্রতিফলনকে কাজে লাগাইয়া তৈয়ারী করা হইয়াছে। প্রতিধ্বনি (echo) ও অনুরণন reverberation) শব্দের প্রতিফলনেরই ফল। সব সময়েই প্রতিধ্বনির দ্বারা সমুদ্রের গভীরতা নির্ণয় খুব সহজই করা যায়। চিত্র নং 41 লক্ষ্য



চিত্র নং 41

করিলেই ইহা বুঝা যাইবে। জাহাজের নীচের দিকে প্রায় মধ্যস্থলে S হইতেছে শব্দের উৎস। এখান হইতে খুব তীক্ষ্ন (sharp) শব্দ করা হয়, চতুর্দিকে শব্দ-তরঙ্গ ছড়াইয়া পড়ে। A হইতেছে হাইড্রোফোন। এখানে শব্দ রেকর্ড করা হয় স্বয়ংক্রিয় বৈদ্যুতিক যোগাযোগের সাহায্যে যে মুহূর্তে S-এ শব্দ করা হয়। সেই মুহূর্তেই A-তে উহা রেকর্ড করা হয়। S হইতে নির্গত শব্দ-তরঙ্গ B-তে প্রতিফলিত হইলে তবে (A-তে আসিয়া পৌছিবে। শব্দ যখন B হইয়া A-তে পৌছায় তখন উহা আবার A-তে রেকর্ড করা হয় এবং উভয় রেকর্ডের অন্তর্বতী সময় স্বয়ংক্রিয় যন্ত্রের সাহায্যে বাহির করা হয়, ধর 2t সেকেণ্ড। তাহা হইলে SB$=v$, t, এবং সমুদ্রের নির্ণেয় গভীরতা হইবে, $d=\sqrt{v^2t^2-\left(\frac{SA}{2}\right)^2}$। এখানে v হইতেছে জলে শব্দের বেগ। SA দূরত্ব সোজাসুজি বাহির করা হয়। এইভাবে সমুদ্রের গভীরতা মাপা হয়।

47. শব্দের বিভিন্ন উৎস (Different Sources of Sound): তোমরা জান, স্পন্দনশীল যে কোন বস্তু শব্দের উৎস। ঐ বস্তুর চারিদিকে যে মাধ্যম

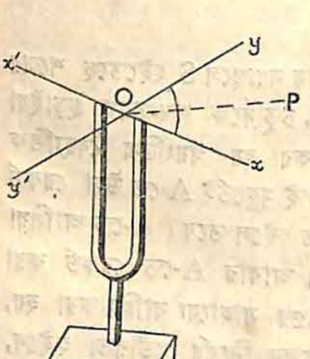
থাকে তাহাতে ঐ স্পন্দনের অনুরূপ স্পন্দন সৃষ্টি হয় এবং তরঙ্গের উৎপত্তি হয়। ঐ তরঙ্গ কানে পৌছিতে পারিলে শব্দ শোনা যায়।

শব্দ একটি অনুভূতি যাহা স্পন্দনের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। এই স্পন্দন সরল দোলগতি হইতে পারে, না হইতেও পারে। তবে পর্যাবৃত্ত আন্দোলন হইবেই। শেষোক্ত ক্ষেত্রে দেখা গিয়াছে ইহা কয়েকটি সরল দোলগতির মিশ্রণ। এই ভিন্ন ভিন্ন স্পন্দন ভিন্ন ভিন্ন অনুভূতি সৃষ্টি করে। সুতরাং বিভিন্ন স্পন্দনশীল বস্তু হইতে বিভিন্ন রকমের শব্দ নির্গত হয়।

সাধারণতঃ যে সকল বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করিলে প্রবলভাবে স্পন্দিত হয় তাহাদের এইভাবে শ্রেণীভুক্ত করা হয়—

(i) সুর শলাকা, (ii) প্লেট, (iii) পর্দা, (iv) টানযুক্ত তার, (v) বায়ুস্তম্ভ।

(i) **সুর শলাকা (Tuning Fork)**—ইহার শব্দ বিশুদ্ধ সরল দোলগতির সৃষ্ট। চিত্র-42-এ ইহা দেখান হইয়াছে। ইহার একটি প্রং-এ একবার আঘাত করিলে বহুক্ষণ ধরিয়া স্পন্দিত হয়। দুই প্রং একসঙ্গে বাহিরের দিকে আসে। প্রথম ক্ষেত্রে বায়ুস্তরে সংনমন সৃষ্টি হয় এবং ঐ সংনমন অবস্থা দুই দিকেই চলিতে থাকে। তাহার পরেই তনুভবন সৃষ্টি হয় এবং ঐ অবস্থার একইভাবে দুইদিকে সংনমন অবস্থার স্তরের পিছনে একই গতিতে চলিতে থাকে। x বা x' দিকে কাণ রাখিলে শব্দ প্রবলভাবে শোনা যায়। কান একটু সরাইলে শব্দ সামান্য ক্ষীণ হয়, কিন্তু ভালই শোনা যায়। আবার, যখন x ও x' দিকে সংনমন হয় তখন দুই প্রংয়ের মধ্যবর্তী অঞ্চলের বায়ুতে আংশিক শূন্যতা (partial vacuum) সৃষ্ট হয়। ফলে y ও y' দিকে তনুভবনের অবস্থা সৃষ্টি হয় এবং এই অবস্থা দুই দিকে শব্দের বেগে চলিতে থাকে। তাহার পরেই দুই প্রং ভিতরের দিকে আসিলে সংনমনের অবস্থার সৃষ্টি হয়, এবং ঐ অবস্থা তনুভবন অবস্থার পিছন পিছন চলিতে থাকে। সুতরাং সুর শলাকা হইতে দুই পরস্পর লম্ব দিকে দুই শ্রেণী শব্দ-তরঙ্গ সৃষ্ট হয়। দুইয়ের সমস্ত বৈশিষ্ট্য (বিস্তার, কম্পাঙ্ক, বেগ) এক, শ্রোতার অনুভূতিও এক। কেবল উহাদের মধ্যে একটি দশা পার্থক্য থাকে, ইহা অপরিবর্তিত এবং π (বা 180°)। ফলে যেখানে এই দুই শ্রেণীর তরঙ্গের উপরিপতি হইবে সেখানে ব্যতিচারের ফলে কোন শব্দ শোনা যাইবে না। সত্য সত্যই xoy কোণের দ্বিখণ্ডক OP দিকে কান রাখিলে শব্দ শোনা যায় না। বাস্তবে অবশ্য একটি ক্ষীণ শব্দ শোনা যায়ই। ইহার কারণ ব্যবর্তন (diffraction) এবং শব্দের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য আলোকের তুলনায় অনেক বেশী বলিয়া



চিত্র নং 42

আলোকের ব্যবর্তন অপেক্ষা শব্দের ব্যবর্তন অনেক বেশী। সেইজন্যই কোন বাধা পাইলে ঐ বাধা অতিক্রম করিয়া শব্দ অতি সহজেই বাঁকিয়া যায়।

বিশুদ্ধ সরল দোলগতির শব্দ সৃষ্টি করে বলিয়া বিজ্ঞানীদের কাছে সুর শলাকা অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। ইহাকে একবার আঘাত করিলে বহুক্ষণ শব্দ উদ্গীরণ করে; কিন্তু তাহা হইলেও শব্দ আস্তে আস্তে ক্ষীণ হইয়া আসে, এবং অবশেষে থামিয়া যায়। ইহার প্রধান কারণ বায়ুর প্রতিরোধ। অনেক বৈজ্ঞানিক পরীক্ষায় অনেকক্ষণ সমান তীব্রতার শব্দ উদ্গীরণ করে এরূপ সুর শলাকার প্রয়োজন হয়। সেইজন্য উহার যে শক্তি ক্ষয় হয় তাহা বৈদ্যুতিক শক্তি দ্বারা পূরণ করিবার ব্যবস্থা থাকে। উহাকে বলে বিদ্যুৎ সংরক্ষিত সুর শলাকা (electrically maintained tuning fork)।

(ii) **প্লেট**ঃ শব্দের এই শ্রেণীর উৎস একটি ধাতুর প্লেট, সমতল বা বাঁকান। ঘণ্টা, কাঁসর প্রভৃতি এই শ্রেণীতে পড়ে। প্লেটের উপকরণের উপর শব্দের উৎকর্ষ ও স্থায়িত্ব নির্ভর করে। পিতল বা বেল মেটাল (Bell Metal) একটি প্রকৃষ্ট পদার্থ।

(iii) **পর্দা (Membrance)**ঃ এই শ্রেণীর উৎস চামড়ার একটি পর্দা। উহাকে চারিপাশে শক্ত করিয়া আঁটিয়া উহাতে আঘাত করিলেই শব্দ নির্গত হয়। ঢাক, ঢোল, তবলা প্রভৃতি বাদ্যযন্ত্র এই শ্রেণীর উৎস।

(iv) **টানা দেওয়া তার (String under Tension)**ঃ শব্দের এই শ্রেণীর উৎসতে একটি ফাঁপা পাতলা কাঠের বাক্সের উপর দুই প্রান্তে দুইটি আংটার সহিত শক্ত করিয়া টানা দেওয়া কয়েকটি ধাতুর তার আটকান থাকে। এই তারকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের শব্দ শোনা যায়। ইহা সেতার জাতীয় যন্ত্র। আবার কোনটি না টানিয়া ছোট হাতুড়ি দিয়া ঘা মারিয়া বাজান হয়। এটি পিয়ানো। আর এক রকম যন্ত্র আছে, যাহার তারকে একটি ছড় দিয়া টানিয়া বাজান হয়। ইহা হইল বেহালা, এস্রাজ প্রভৃতি।

(v) **বায়ুস্তম্ভ (Air Column)**ঃ ইহা সাধারণতঃ দুইমুখ খোলা একটি নল। ইহার একদিকে মুখ দিয়া জোরে ফুঁ দেওয়া হয়। তাহা হইলেই ইহা তাহার 'বৈশিষ্ট্যমূলক কম্পাঙ্কের শব্দ উদ্গীরণ করিবে। বাঁশি, ফ্লুট, ক্ল্যারিওনেট প্রভৃতি এই শ্রেণীর শব্দের উৎস। রেল-এঞ্জিনের বাঁশীও একই ধরনের। সাধারণতঃ ইহাদের কতগুলি ফুটা আছে। এইগুলিতে আঙ্গুল দিয়া বন্ধ করিয়া ইহার কার্যকর দৈর্ঘ্য কমান বাড়ান যায়। তাহার দ্বারা শব্দের কম্পাঙ্ক বদলান যায়। রেলের গার্ড, খেলার রেফারী, পুলিশ—ইহাদের বাঁশি একটু অন্য ধরনের। ইহাতে পাশাপাশি দুইটি নল থাকে, তাহাদের দৈর্ঘ্য বেশ ছোট বড়। প্রত্যেকটির নির্গত শব্দ বেশ উচ্চ কম্পাঙ্কের। কিন্তু একসঙ্গে বাজাইলে দুই শব্দের উপরিপতির ফলে অনেক নিম্ন কম্পাঙ্কের কিন্তু অনেক দূর হইতে পরিষ্কার শোনা যায়। এই বাঁশীকে বলে **গ্যালটনের বাঁশী** (Galton's Whistle)।

4·8. সুরযুক্ত ও সুরবর্জিত শব্দ (Musical Sound and Noise) : অতি স্বল্পস্থায়ী শব্দ, যেমন—একটি বিস্ফোরণ বা বন্দুক ছুঁড়িবার শব্দ বা কোন জিনিসের মাটিতে পড়িবার শব্দ ব্যতীত বিভিন্ন স্থায়ী শব্দের মধ্যে কোন শব্দ শ্রুতিমধুর, আবার কোন শব্দ শ্রুতিকটু। প্রথমোক্ত শ্রেণীর শব্দকে বলে **সুরযুক্ত শব্দ** বা **স্বর**। দ্বিতীয়োক্ত শ্রেণীর শব্দকে বলে **সুরবর্জিত শব্দ** বা কোলাহল।

পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে, সুরবর্জিত শব্দ কোন নিয়ম মানিয়া চলে না এবং সেইজন্য কাণে শ্রুতিকটু মনে হয়।

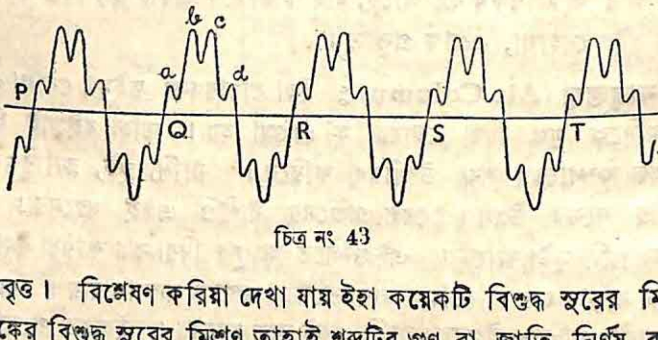
তবে, সুরযুক্ত ও সুরবর্জিত শব্দের ব্যবধান খুব সূক্ষ্ম নয়। একটি বাজার বা হাটের লোকজনের শব্দ খুবই শ্রুতিকটু মনে হয়। আবার, কিছুদূর হইতে শুনিলে ঐ শব্দই অনেকের কাছে শ্রুতিমধুর মনে হয়।

প্রত্যেক সুরযুক্ত শব্দের কয়েকটি বৈশিষ্ট্য আছে, যাহা দ্বারা চোখে না দেখিলেও কাণের অনুভূতি দ্বারা চিনিয়া রাখা যায়। এইগুলি হইল—(i) **তীব্রতা (intensity)**, (ii) **তীক্ষ্ণতা (pitch)**, এবং (iii) **গুণ** বা **জাতি (quality)**।

(i) তীব্রতা হইতেছে কত শক্তিতে শ্রোতার কান স্পন্দিত হইতেছে। ইহা শব্দের উৎসের স্পন্দন বিস্তার, কাণ হইতে দূরত্ব ও উৎসের আকৃতির উপর নির্ভর করে। তীব্রতা তরঙ্গের বিস্তারের বর্গের সহিত সমানুপাতিক।

(ii) তীক্ষ্ণতা হইতেছে অনুভূতি, চড়া কি বেশী চড়া কি কোমল ইত্যাদি। ইহা কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর করে। কম্পাঙ্ক বেশী হইলে শব্দ চড়া বলিয়া মনে হয়।

(iii) গুণ বা জাতি হইতেছে একটি বৈশিষ্ট্য, যাহা দ্বারা শুনিয়াই বলিয়া দেওয়া যায় কি ধরনের শব্দ, বেহালার কি তবলার। এই বৈশিষ্ট্য তরঙ্গের গ্রাফরেখার আকৃতির উপর নির্ভর করে। একটি সুর শলাকার অনুশ্চ শব্দ একটি সাইন বা কোসাইন গ্রাফ-রেখা। ইহাই বিশুদ্ধ সুর। অন্যান্য শব্দের তরঙ্গ নানাভাবে বিকৃত গ্রাফরেখা,



চিত্র নং 43

অবশ্য পর্যাবৃত্ত। বিশ্লেষণ করিয়া দেখা যায় ইহা কয়েকটি বিশুদ্ধ সুরের মিশ্রণ। কি কি কম্পাঙ্কের বিশুদ্ধ সুরের মিশ্রণ তাহাই শব্দটির গুণ বা জাতি নির্ণয় করে। চিত্র নং 42-এ এইরূপ একটি তরঙ্গ রেখা দেখান হইয়াছে। ইহা একটি বেহালার শব্দ।

4·9. শব্দের ধ্বনিলিপিকরণ ও পুনর্জনন (Recording and Reproduction of sound) : এ পর্যন্ত যাহা জানা গিয়াছে তাহা হইতে শব্দ সম্বন্ধে

একটি ধারণা তোমাদের হইয়াছে। শব্দ কি ? ইহা হইতেছে শব্দের উৎসের পর্যাবৃত্ত আন্দোলন। এই আন্দোলনের ফলে উৎসটি শব্দের গতির দিকে পর্যাবৃত্ত বল প্রয়োগ করে। এই বল প্রয়োগের ফলে পার্শ্ববর্তী মাধ্যমের কণাগুলি প্রভাবিত হয় ও পরবর্তী স্তরের কণাগুলির উপর অনুরূপ বল প্রয়োগ করে। অবশেষে শ্রোতার কাণের পর্দাও প্রভাবিত এবং আন্দোলিত হয়। কিন্তু উৎস থামিয়া গেলেই শব্দও বন্ধ হইয়া যায়। তাহার কোন চিহ্ন থাকে না। যদি এইরূপ অস্থায়ী প্রভাবের পরিবর্তে কোন কঠিন (কিন্তু কোমল) বস্তুর উপর একটি সূক্ষ্ম ক্ষতচিহ্ন রাখার ব্যবস্থা করা যায়, তবে এই চিহ্নটি ঐ শব্দের একটি **ধ্বনিলিপি** (Record) হইবে। এই ধ্বনিলিপি এবং পরে পুনর্জনন সাধারণতঃ তিনভাবে করা হয়, যথা—

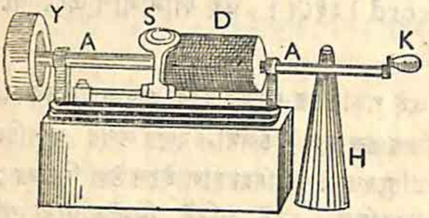
(i) **যান্ত্রিক** (Mechanical) : এই পদ্ধতিতে শব্দের দ্বারা প্রযুক্ত যান্ত্রিক বল একটি তীক্ষ্ণাগ্র বস্তুর দ্বারা একটি কঠিন (কিন্তু কোমল), চলমান বস্তুর উপর ক্ষতচিহ্ন সৃষ্টি করে। পরে ঐ তীক্ষ্ণাগ্র বস্তুটি ঐ ক্ষতচিহ্নের উপর দিয়া চালাইলে উহা নিজের যে পর্যাবৃত্ত গতির দ্বারা ঐ ক্ষত চিহ্ন সৃষ্টি করিয়াছিল, সেই গতিই নিখুঁতভাবে সৃষ্টি করে। ইহাই শব্দের **পুনর্জনন** (reproduction)।

এই পদ্ধতিতে ধ্বনিলিপি প্রথম প্রস্তুত হয় 1851 খ্রীস্টাব্দে **কোয়েনিগ** (Koenig) দ্বারা। পরে 1877 খ্রীস্টাব্দে এডিসন এই পদ্ধতির উন্নতি করিয়া একটি ঘূর্ণায়মান ধাতুর বেলনের পৃষ্ঠের উপর তীক্ষ্ণাগ্র টিনের শলাকা দ্বারা শব্দের ক্ষত সৃষ্টি করেন। এই যন্ত্রের নাম **'ফনোগ্রাফ'**। টিনের শলাকার উপর বেশী বল প্রয়োগ করিতে একটি শিঙা (horn) ব্যবহার করা হয়। শিঙার সরু মুখ দিয়া শব্দ প্রবলবেগে একটি অভ্র বা কাঁচের পর্দার উপর পড়ে। পর্দা শব্দের সহিত স্পন্দিত হইতে থাকে এবং পর্দার অপরদিকে লম্বভাবে যুক্ত টিনের শলাকাটি শব্দের সহিত নিখুঁত অনুরূপভাবে স্পন্দিত হয় এবং তীক্ষ্ণ অগ্রভাগ বেলনের উপর ক্ষত সৃষ্টি করে। বেলনটি একটি অক্ষের চারিদিকে যান্ত্রিক উপায়ে সমবেগে ঘুরান হয় এবং এমন ব্যবস্থা থাকে, যাহাতে বেলনটি ঘুরাইলে উহা ঘুরিবার সঙ্গে সঙ্গে অক্ষের দিক্ বরাবর সমবেগে চলিতে থাকে। ফলে কিছুক্ষণ যন্ত্রটি চালাইলে ক্ষত চিহ্নটি ঘুরিয়া ঘুরিয়া বেলনের একপ্রান্ত হইতে অন্য প্রান্তের দিকে চলে। পর্দাটি (অভ্র বা কাঁচের) একটি আংটার (ring) মধ্যে বেশ টানিয়া আটকান থাকে। এই পর্দা ও তাহার সহিত লম্বভাবে যুক্ত তীক্ষ্ণাগ্র শলাকা—এই অংশকে বলে **অনুনাদক** (Sound Box)। ইহা এই যন্ত্রের একটি গুরুত্বপূর্ণ অংশ। বর্তমানে এই অংশের প্রভূত উন্নতি হইয়াছে, পর্দা তৈয়ারী, উহাকে টানা দিয়া বসান এবং শলাকা তৈয়ারীতে।

শব্দের পুনর্জনন করিতে, ক্ষত চিহ্ন দ্বারা চিহ্নিত করিবার পর বেলনটি সরাইয়া প্রাথমিক অবস্থানে লইয়া আসা হয়। আর, তীক্ষ্ণ শলাকা বদলাইয়া একটু গোল অগ্রের শলাকা বসান হয়। তাহার পর বেলনটি আবার ঘুরান হয়। শলাকাটির অগ্রভাগ ঐ ক্ষতের মধ্য দিয়া চলিতে চলিতে যে গতি ঐ ক্ষত সৃষ্টি করিয়াছিল,

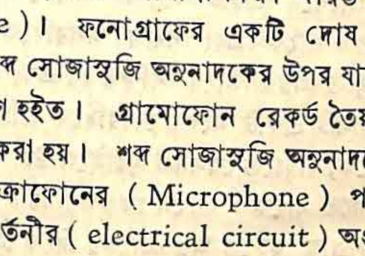
নিখুঁতভাবে ঠিক তাহার বিপরীত গতি পায়, এবং পর্দা এই গতি পাইয়া এমনভাবে আন্দোলিত হয় যে পূর্বের শব্দ উহা হইতে নির্গত হইতে থাকে। এই শব্দকে প্রবল করিবার জন্য নির্গত শব্দ শিঙার মধ্য দিয়া বাহির করান হয়।

চিত্র নং 44-এ একটি ফনোগ্রাফ দেখান হইয়াছে। D হইতেছে ধাতুর বেলন, যাহা হাতল K ঘুরাইয়া A অক্ষের চারিদিকে ঘুরান যায়। ঘূর্ণন সমবেগ করিবার জন্য একটি ভারী চাকা (Fly wheel) Y একপ্রান্তে যুক্ত থাকে। S হইতেছে অনুনাদক। ইহাতে একটি আংটা ; আংটার ভিতরে, একটি পাতলা কাঁচ বা অভ্র টান করিয়া আটকান। অপর পৃষ্ঠে ইহার কেন্দ্রে লম্বভাবে একটি শলাকা যুক্ত এবং এই শলাকার তীক্ষ্ণাগ্র বেলন পৃষ্ঠের উপর চাপ দিবার মত করিয়া যুক্ত। H একটি শিঙা। ইহাতে কথা বলিলে শব্দ প্রবলভাবে পর্দার উপর চাপ প্রয়োগ করে।



চিত্র নং 44

শব্দের ধ্বনিলিপিকরণ ও পুনর্জনন এখন বহু পদ্ধতিতে করা হয় এবং ইহাতে বহু উন্নতি হইয়াছে। কিন্তু এডিসনের ফনোগ্রাফ তৈয়ারী যে নীতি অনুসারে হইয়াছিল, বিভিন্ন পরিবেশেও সেই নীতি প্রায় অক্ষুণ্ণ আছে। যন্ত্র হিসাবে ফনোগ্রাফ খুবই প্রাথমিক পর্যায়ের। ইহা হইতে শব্দের যে পুনর্জনন হয় তাহা মোটেই নিখুঁত নয়। সে জন্য বেলনের বদলে বৃত্তাকার চাকৃতির (disc) উপর ধ্বনিলিপিকরণ আরম্ভ হয়। ইহাই হইল **গ্রামোফোন** (Gramophone)। ফনোগ্রাফের একটি দোষ ছিল যে ইহা বিশুদ্ধ যান্ত্রিক উপায়ে চালিত যন্ত্র। শব্দ সোজাসুজি অনুনাদকের উপর যান্ত্রিক বল প্রয়োগ করিত। এই বল অত্যন্ত ক্ষীণ হইত। গ্রামোফোন রেকর্ড তৈয়ারী করিতে এই শব্দের প্রযুক্ত বলকে বহুগুণ বর্ধিত করা হয়। শব্দ সোজাসুজি অনুনাদকের উপর আপতিত হয় না। শব্দ একটি মাইক্রোফোনের (Microphone) পর্দার উপরে পড়ে। মাইক্রোফোনটি একটি তড়িৎ বর্তনীর (electrical circuit) অংশ। পর্দার আন্দোলনের ফলে বর্তনীর রো (resistance) এবং তাহার সহিত বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ (current) নিখুঁত অনুরূপভাবে কমে ও বাড়ে। এই হ্রাস বৃদ্ধি ভাল্‌ভের (electronic valve) সাহায্যে বর্ধিত করা যায়। এই বর্ধিত (amplified) প্রবাহ উহার হ্রাস বৃদ্ধি অনুসারে অনুনাদকের (Sound Box) পর্দাকে নিখুঁত অনুরূপভাবে আন্দোলিত করে। ধ্বনিলিপিকরণের সময়


চিত্র নং 45

রেকর্ডটি কেন্দ্রের চারিদিকে ঘুরিতে থাকে। এমন ব্যবস্থা থাকে যে রেকর্ডটি ঘুরিলে উহার সহিত অনুনাদকের শলাকাটি কেন্দ্র হইতে পরিধির দিকে, অথবা পরিধি হইতে কেন্দ্রের দিকে ধীরে চলিতে থাকে। ফলে ক্ষত চিহ্নটি ঘুরিয়া সেই দিকে অগ্রসর হয়।

পুনর্জননের জন্য শলাকার স্থানে একটি সামান্য স্থূল অগ্রভাগের পিন ব্যবহার করা হয়। ফলে একই শব্দ অনুনাদক হইতে বাহির হইয়া একটি শিঙার মধ্য দিয়া আসে ও চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়ে। চিত্র নং 45-এ একটি রেকর্ড দেখান হইয়াছে।

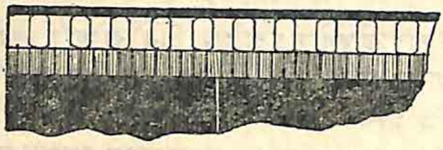
আজকাল এইরূপ সোজাসুজি পুনর্জনন করা হয় না। অনুনাদকের আন্দোলন দিয়া উহার সহিত যুক্ত একটি তড়িৎ বর্তনীতে উহার অনুরূপ পরিবর্তনশীল একটি তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করা হয়। এই প্রবাহ বর্ধিত করিয়া একটি লাউড স্পীকারের বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহের সহিত যুক্ত করা হয়। ফলে মূল শব্দের তুলনায় বহুগুণ বর্ধিত, কিন্তু নিখুঁতভাবে অনুরূপ শব্দ নির্গত হয়। ইহাকে বলে রেকর্ড প্লেয়ার (Record Player)।

(ii) **ফটো ফিল্ম (Photo Film) :** এই পদ্ধতিতে কোন যান্ত্রিক ক্ষত সৃষ্টি হয় না। ক্ষত এখানে রূপক অর্থে বলা হয়। কিন্তু সত্যই ক্ষত। একটি তীব্র আলোক একটি নির্দিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ দ্বারা চালিত আর্ক বাতি (arc lamp) দ্বারা সৃষ্ট হয়, এবং একটি লেন্সের সাহায্যে ঐ আলোকের একটি বিন্দু (spot) একটি লম্বা ফিল্মের উপর গঠিত হয়।

যে শব্দের ধ্বনিলিপি তৈয়ারী করিতে হইবে সেই শব্দ একটি মাইক্রোফোনের উপর আপতিত হয় ; ফলে ঐ শব্দ তরঙ্গের সরণের হ্রাসবৃদ্ধির অনুরূপ হ্রাসবৃদ্ধি যুক্ত একটি তড়িৎ প্রবাহ মাইক্রোফোনের তড়িৎ বর্তনীতে সৃষ্ট হয়। এই তড়িৎ প্রবাহ আর্ক বাতির তড়িৎ প্রবাহের সহিত যুক্ত করা হয় এবং আর্ক বাতির আলোকের ঠিক অনুরূপ হ্রাসবৃদ্ধি সঙ্গে সঙ্গে ঘটিতে থাকে। ফলে ফিল্মের উপর গঠিত আলোক বিন্দুর তীব্রতার (intensity) একই রকম হ্রাসবৃদ্ধি ঘটিতে থাকে। যদি ঐ সময়ে ফিল্মটি ধীরে ধীরে দৈর্ঘ্য বরাবর সরান হয় তবে ফিল্মের উপর আলোকের যে লম্বা চিহ্ন পড়িবে, তাহার অবদ্রবের (emulsion) ঘনত্বের শব্দের সরণের হ্রাসবৃদ্ধির অনুরূপ হ্রাস হইবে। ইহাই ক্ষত চিহ্ন।

এই শব্দের পুনর্জননের জন্য একটি আর্ক বাতির সামনে ফিল্মটিকে ধীরে ধীরে আগের মতই সরান হয়। আর্ক বাতি হইতে নির্গত আলোকের বিন্দু (যাহা উপরে পড়িয়াছ) ফিল্মের উপর পতিত হয় এবং ফিল্মের অপর পারে একটি সেলেনিয়াম সেলের (Selenium cell) উপর আপতিত হয়। সেলেনিয়াম সেলটি একটি তড়িৎ বর্তনীর অংশ। সেলেনিয়াম সেলের বৈশিষ্ট্য এই যে, উহার উপর আলোক পড়িলে উহার রোধ (resistance) বৃদ্ধি পায় এবং এই বৃদ্ধি আলোকের তীব্রতার সহিত সমানুপাতিক। ফলে ফিল্মের অবদ্রবের ঘনত্বের হ্রাসবৃদ্ধির অনুরূপ তড়িৎ প্রবাহের

হ্রাসবৃদ্ধি ঘটিবে। এই প্রবাহ একটি লাউড্‌স্পীকারের সহিত যুক্ত করিলে উহাতে এই হ্রাসবৃদ্ধি যুক্ত তড়িৎ প্রবাহের অনুরূপ যান্ত্রিক স্পন্দন হইবে এবং শব্দের পুনর্জনন হইবে।



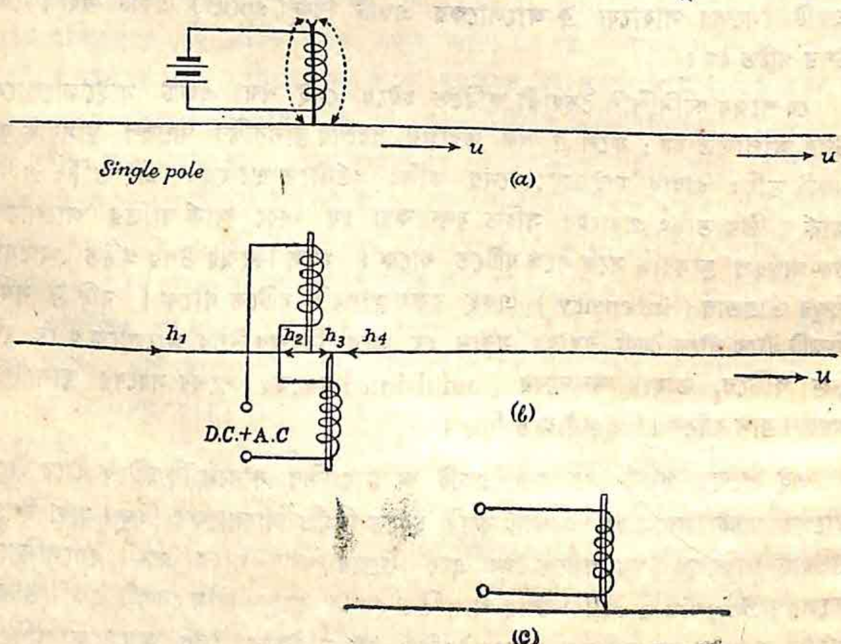
চিত্র নং 46

চিত্র নং 46-এ একটি ফিল্ম্ রেকর্ড দেখান হইয়াছে।

(iii) **চৌম্বক (Magnet):** ইহা আজকাল খুবই জনপ্রিয়। এখন ঘরে ঘরে টেপ রেকর্ডের আদর। ইহা চৌম্বক পদ্ধতিতে তৈয়ারী।

কোন কোন সংকর ইস্পাত (alloy steel) আছে, যাহাদের ধারণ ক্ষমতা (remanence) ও সহনশীলতা (coercivity) খুব বেশী। এ সম্বন্ধে তোমরা চুম্বকবিদ্যায় বিস্তারিত পড়িবে। কাঁচা লোহা (soft iron) চুম্বকিত করিয়া ছাড়িয়া দিলে উহার চুম্বকত্ব একেবারে লোপ পাইয়া যায়। কিন্তু ইস্পাত চুম্বকিত করিয়া ছাড়িয়া দিলে চুম্বকত্ব মোটামুটি স্থায়ী থাকে। চুম্বকত্ব বিনাশ করিতে হইলে বিপরীতমুখী চুম্বক বল প্রয়োগ করিতে হয়।

উপরোক্ত গুণ আছে এমন একটি সংকর ইস্পাতের লম্বা ফিতা (tape) লওয়া হয় এবং অনুভূমিকভাবে রাখা হয়। উহার একপ্রান্তে একটি চুম্বকের একপ্রান্ত



চিত্র নং 47

ঠেকাইয়া ফিতাটি ধীরে ধীরে তীর চিহ্নিত দিকে সরাইয়া লওয়া হয়। ফলে ফিতাটি

চুম্বকত্ব পায় [চিত্র নং 47(a)]। এইবার একটি চুম্বকের উত্তর মেরু ও আর একটির দক্ষিণ মেরু যথাক্রমে ফিতাটির উপরের পৃষ্ঠে ও একটু দূরে নীচের পৃষ্ঠে ঠেকাইয়া ফিতাটি একটি নির্দিষ্ট বেগে সরান হয়। এই দুই চুম্বক একই তারের কুণ্ডলী দিয়া আবৃত থাকে এবং এই তার দিয়া একটি সমপ্রবাহ (D. C.) ও একটি পরিবর্তী প্রবাহের (A. C.) মিশ্রণ পাঠান হয় [চিত্র নং 47 (b)]। পরিবর্তী প্রবাহের অংশ একটি মাইক্রোফোনের বর্তনী (circuit) হইতে আসে এবং মাইক্রোফোনের পর্দার উপর যে শব্দ রেকর্ড করিতে হইবে তাহা আপতিত হয়। ফলে শব্দ-তরঙ্গের সরণ হ্রাস-বৃদ্ধির সহিত চুম্বকত্ব অল্প অল্প কমিবে বাড়িবে এবং ফলে ফিতার উপর সামান্য হ্রাস বৃদ্ধি যুক্ত চুম্বকত্ব অঙ্কিত হইবে। ইহাই ক্ষত চিহ্ন (অবশ্য রূপক হিসাবে)।

ঐ শব্দের **পুনর্জনন** করিতে একটি চুম্বকের একটি মেরু ফিতার সহিত ঠেকাইয়া ফিতাটি আবার সরাইয়া লওয়া হয়। চুম্বকটি কেবল একটি তারের কুণ্ডলী দিয়া আবৃত থাকে। [চিত্র নং 47 (c)]। মেরুর সহিত বিভিন্ন চুম্বকত্বের স্থান স্পর্শ করায় ঐ কুণ্ডলীতে বিভিন্ন তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয়। এই প্রবাহ একটি লাউড্‌স্পীকার বর্তনীর সহিত যুক্ত করিয়া ঐ শব্দের ঠিক অনুরূপ শব্দ উদ্গীরণ করান যায়।

4·10. আলোক ও তরঙ্গ (Light and Wave) : নিউটন ধারণা করিয়াছিলেন যে, আলোকের কণা আছে। আলোকের উৎস একটি আন্দোলনের উৎস। উহা হইতে আলোকের কণা সরলরেখা ধরিয়া চতুর্দিকে ছুটিতে থাকে এবং চক্ষুতে যদি কোন কণা প্রবেশ করে তবে তাহার আঘাতে একটি অনুভূতির সৃষ্টি হয়। ইহাই আলোক।

এই ধারণা দ্বারা সরলরেখা বরাবর সঞ্চালন (rectilinear propagation) এবং প্রতিফলন সূত্রাবলী ব্যাখ্যা সহজেই করা যায় ; কিন্তু অনেক ঘটনা চোখে পড়ে যাহার ব্যাখ্যা এই ধারণা হইতে করা যায় না। প্রতিসরণ ব্যাখ্যা করা যায় না। তৃতীয় পরিচ্ছেদে **তোমরা পড়িয়াছ** তরঙ্গের উপরিপতির ফলে ব্যতিচার এবং ব্যবর্তন (diffraction) ঘটে। ইহাও এই ধারণা হইতে ব্যাখ্যা করা যায় না। সেইজন্যই বিজ্ঞানীদের ধারণা হইল, আলোক একটি তরঙ্গ-বাহিত সত্বা (entity)। এই নূতন ধারণা হইতে এই সকল ঘটনা ব্যাখ্যা করা যায় এবং পূর্বোক্ত দুই ঘটনাও—সরল-রেখা বরাবর সঞ্চালন ও প্রতিফলন সূত্রাবলী—ব্যাখ্যা করা যায়। সেইজন্য সকলেরই ধারণা হইল, আলোক কণা নয়, আলোক তরঙ্গ। অবশ্য ইদানীং আলোক ও পদার্থের সংঘাতের ফলে কতকগুলি ঘটনা দেখা গিয়াছে যাহার জন্য আলোক তরঙ্গ এই শর্তহীন ধারণা, আর থাকিতে পারে নাই। আলোক কণা, এই ধারণা আবার মনে আসিয়াছে। কিন্তু আলোকের সহিত আলোকের সংঘাতের ক্ষেত্রে আলোককে আমরা তরঙ্গ বলিয়াই ধরিয়া লইব।

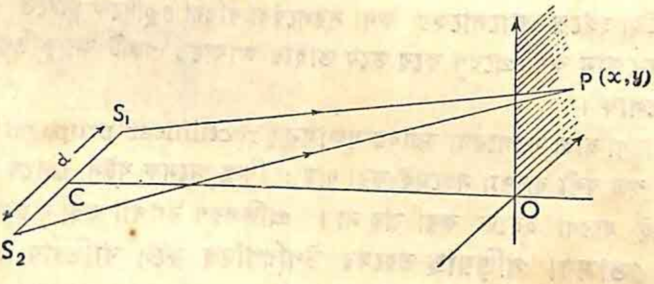
4·11. আলোকের সীমিত বেগ (Finite Velocity of Light) : সাধারণ অভিজ্ঞতা হইতে মনে হয় আলোকের বেগ সীমাহীন। কিন্তু সতর্কভাবে নানা

পরীক্ষা হইতে দেখা গেল, আলোকের বেগ সীমাহীন নয়, সীমিত। উহা হইতেছে, মহাশূন্যে $2{\cdot}9973 \times 10^{10}$ সে. মি./সেকেণ্ড (প্রায়); সাধারণ কাঁচে উহার $\frac{2}{3}$ অংশ (প্রায়), এবং জলে উহার $\frac{3}{4}$ অংশ (প্রায়)।

এই তথ্যও আলোক যে একটি তরঙ্গ-বাহিত সত্বা তাহার আর একটি প্রমাণ। দ্বিতীয় পরিচ্ছেদে তোমরা পড়িয়াছ কোন মাধ্যমে কোন তরঙ্গের বেগ ঐ মাধ্যমের প্রকৃতি দ্বারা নির্ণীত হয়। যদি আলোক কণা হইত তবে আলোক উৎস যত উজ্জ্বল হইবে নির্গত কণার বেগ তত বেশী হইবে। কিন্তু তাহা হয় না। কোন নির্দিষ্ট মাধ্যমে আলোকের একই বেগ। সুতরাং আলোক কণা নয়। আলোক তরঙ্গ।

4·12. **আলোকের ব্যতিচার (Interference of Light) :** তৃতীয় পরিচ্ছেদে তোমরা পড়িয়াছ তরঙ্গের ব্যতিচার হয়। আলোকেরও ব্যতিচার হয়। কোন স্থানে দুইটি আলোক পড়িয়া অন্ধকারের সৃষ্টি হয়। ইহা একটি অতি গুরুত্বপূর্ণ ঘটনা। এ সম্বন্ধে বহু পরীক্ষা আছে। সর্বাপেক্ষা সাধারণ পরীক্ষা (ইহার নাম ইয়ং-এর পরীক্ষা) এ প্রসঙ্গে লিপিবদ্ধ করা হইল—

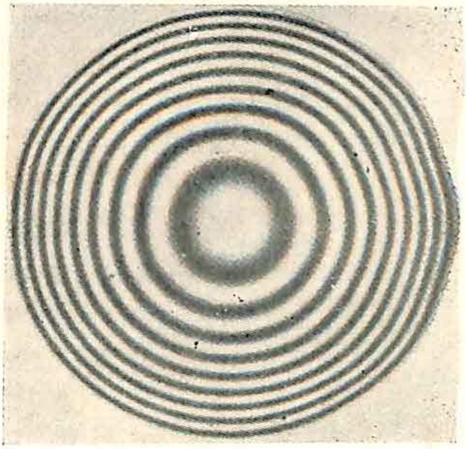
চিত্র নং 48-এ পরীক্ষার ব্যবস্থা দেখান হইয়াছে। S_1, S_2 দুইটি বিন্দুবৎ সদৃশ আলোক উৎস। উহাদের মধ্যকার দূরত্ব খুব কম, ধর d। $S_1 S_2$ রেখা হইতে



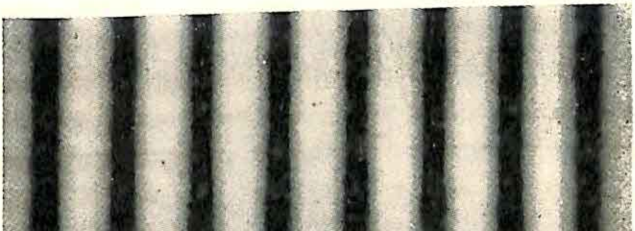
চিত্র নং 48

কিছুদূরে উহার সমান্তরাল একটি পর্দা রাখা আছে। $S_1 S_2$ সমদ্বিখণ্ডিত করিয়াছে C বিন্দু। C হইতে $S_1 S_2$-র লম্ব টানা হইল। এই লম্বটি পর্দাকে O বিন্দুতে ছেদ করিয়াছে। এইবার O-কে মূলবিন্দু করিয়া পর্দার উপর $S_1 S_2$-র সমান্তরাল ও লম্ব দুইটি রেখা টানা হইল, ধর, যথাক্রমে Ox, Oy। যদি S_1, S_2 হইতে সমান বিস্তারের আলোক তরঙ্গ নির্গত হয়, তবে পর্দার উপরে Ox-এর লম্বদিকে সমান্তরাল সম উজ্জ্বল (of equal intensity) পাড় (fringe) দেখা যায়। পাশাপাশি দুই উজ্জ্বল পাড়ের মধ্যে একটি করিয়া অন্ধকার জায়গা—অন্ধকার পাড়ের মত। প্রতি পাড়ের প্রস্থ ও ঔজ্জ্বল্য সমান। এই পাড়ের দৃশ্য চিত্র নং 53-তে দেখান হইয়াছে।

পর্দার যে যে বিন্দুর S_1 ও S_2 হইতে দূরত্ব সমান বা তাহাদের দূরত্বের অন্তর এক তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের কোন গুণিতক $(\lambda, 2\lambda, 3\lambda, \cdots)$, সেই সেই বিন্দুতে দুই তরঙ্গ সব



চিত্র 52 নিউটনের চক্র



চিত্র 53 ইয়ং এর ব্যতিচার পাড়

সময় একই দশায় আসিয়া পৌছিবে। ফলে বিস্তার দ্বিগুণ হইবে, বিন্দু অতি উজ্জ্বল হইবে। আবার যে যে বিন্দুর এই দুই দূরত্বের অন্তর $\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}\cdots$, সেই সেই বিন্দুতে দুই তরঙ্গ 180° দশা পার্থক্যে আসিয়া পৌছিবে এবং লব্ধ বিস্তার হইবে শূন্য। সেই বিন্দুগুলি অন্ধকার হইবে।

যে সমীকরণ দ্বারা এই পাড়গুলির অবস্থানের নির্দেশ দেওয়া যায় তাহা এই।

$$S_1P \sim S_2P = 0, \lambda, 2\lambda \cdots\cdots \quad \text{(উজ্জ্বল)}$$

$$\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2} \cdots \text{(অন্ধকার)} \cdots \quad (4{\cdot}12{\cdot}1)$$

এই পরীক্ষা সফল করিতে হইলে S_1 ও S_2 একেবারে সূক্ষ্ম অর্থে সদৃশ হইতে হইবে। প্রত্যেকটির বিভিন্ন স্পন্দনশীল কণার সহিত অপরটির একটি কণার একই সঙ্গে একই দশায় স্পন্দন হওয়া চাই। ইহাকে বলে উহাদের **আসঞ্জন** (coherence)। উৎস দুইটি আসঞ্জিত (coherent) হওয়া দরকার। যদি উৎস দুইটি আলাদা হয় তবে যত নৈপুণ্য সহকারে তাহাদের সদৃশ করিয়া তৈয়ারী করা হউক না কেন, তাহাদের মধ্যে আসঞ্জন হইবে না। উহাদের একই উৎস হইতে উদ্ভূত হইতে হইবে। সেইজন্য এ পরীক্ষায় একটি কার্ডবোর্ডে পাশাপাশি দুইটি সূচী ছিদ্র (pinhole) করা হয়, এবং একটি উৎস উহার পিছনে রাখিয়া উহা দ্বারা দুই সূচী ছিদ্রকে আলোকিত করা হয়। তবেই এই পরীক্ষা সফল হয়।

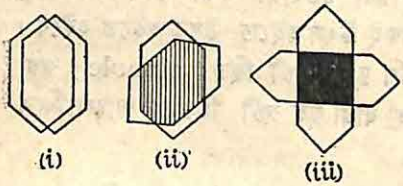
ব্যতিচার আলোকের একটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ ধর্ম। আলোকের ব্যতিচার বহু রকমে দেখানো যায়। জলের উপর যদি তেলের একটি অতি সূক্ষ্ম স্তর থাকে, আর তাহার উপর যদি সূর্যের আলোক পড়ে, তবে নানা রঙের মেলা দেখা যায়। ইহার কারণ ব্যতিচার। যদি একটি সমতল দর্পনের উপর একটি বেশী ফোকাস দূরত্বের উত্তল (convex) লেন্স রাখিয়া উপর হইতে এক রঙের বা এক তরঙ্গের (monochrome-tic) আলোক ফেলা যায় তবে কতকগুলি এককেন্দ্রীয় (Concentric) বৃত্তাকার উজ্জ্বল ও অন্ধকার পাড় (fringe) দেখা যায়। যদি আলোক একই তরঙ্গের না হইয়া বিভিন্ন তরঙ্গের মিশ্রণ বা সাদা আলোক হয়, তবে দেখা যাইবে নানা রঙের এককেন্দ্রীয় বৃত্তাকার পাড়। ইহাকে বলে **নিউটনের বলয়** (Newton's Rings) (চিত্র নং 52)। এই ব্যতিচার আলোক যে একটি তরঙ্গ-বাহিত সত্ত্বা তাহা প্রমাণ করে।

দ্রষ্টব্য :—§ 3·2-তে জল তরঙ্গের ব্যতিচার সম্বন্ধে আলোচনায় পড়িয়াছ, দুই তরঙ্গমালার ব্যতিচারের ফলে কোন মুহূর্তে দুই শীর্ষ বা দুই খাদের উপরিপতির ফলে যে সকল দ্বিগুণ শীর্ষ ও দ্বিগুণ খাদ সৃষ্টি হয় সেগুলি ধীরে ধীরে চলিতে থাকে। কিন্তু শব্দ বা আলোকের ব্যতিচারে ঐ বিন্দুগুলি স্থির থাকে, উহার কোন গতি লক্ষ্য করা যায় না। ইহার কারণ, জল তরঙ্গের তুলনায় শব্দের কম্পাঙ্ক অনেক বেশী।

আলোকের ত কথাই নাই। ফলে আলোক বা শব্দের তীব্রতা অনুযায়ী আমরা দেখি ও শুনি। আর, এই তীব্রতা আলোকের বিস্তারের বর্গের সমান। জল তরঙ্গের কম্পাঙ্ক অত্যন্ত কম। উহার সরণের হ্রাসবৃদ্ধি আমরা চোখে দেখি। শ্রবণেন্দ্রিয় কিছুটা স্থূল। এই হ্রাসবৃদ্ধি কাণে ধরা যায় না। কাণে ধরা যায় তীব্রতা। আলোকের সরণের হ্রাসবৃদ্ধি অতি দ্রুত। কাণ অপেক্ষা চোখ অনেক সূক্ষ্ম হইলেও অতি দ্রুত হ্রাসবৃদ্ধি ধরিতে পারে না। ধরিতে পারে উহার তীব্রতা। সেইজন্য ব্যতিচারের নক্সা (interference pattern) স্থির ও নিশ্চল দেখা যায়।

4·13. **সমবর্তন (Polarization) :** আলোক ও শব্দ দুই-ই তরঙ্গ। উভয়ের মধ্যে প্রচুর সাদৃশ্য আছে। কেবল একটি বিষয়ে উহাদের মধ্যে গুরুত্বপূর্ণ অসাদৃশ্য আছে। শব্দ এক মাধ্যম হইতে আর এক মাধ্যমে প্রতিস্থত হয়। আলোকও সাধারণতঃ তাহাই হয়, কিন্তু কয়েকটি ক্ষেত্রে হয় না।

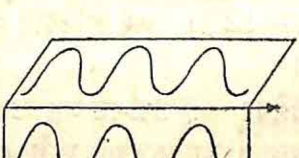
চিত্র নং 49 (i)-এ দুইটি টুরমালিন (tourmaline) ফলক পাশাপাশি সমান্তরাল করিয়া রাখা আছে। একদিক হইতে সাদা আলোক ফেলিলে উহা দুইটি ফলক ভেদ করিয়া চলিয়া যাইবে। এই অবস্থায় সামনের ফলক ঠিক রাখিয়া যদি পিছনেরটি নিজ তলের লম্বদিকের একটি অক্ষের চারি-পাশে ঘুরান যায় তবে প্রথমে [চিত্র 49 (ii) অবস্থায়] অপর পার্শ্বে দেখা যাইবে, আলো কিছু আসিতেছে, কিন্তু বেশ ক্ষীণ হইয়াছে যখন দ্বিতীয় ফলকটি এক সমকোণ ঘুরিবে [চিত্র নং 49 (iii)], তখন দেখা যাইবে অপরদিকে কোন আলোক যাইতেছে না। কিন্তু শব্দের ক্ষেত্রে এ ধরনের কোন ঘটনা দেখা বা শোনা যায় না। ইহার কারণ, শব্দ-তরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ, আলোক তরঙ্গ অনুপ্রস্থ তরঙ্গ।



চিত্র নং 49 :

অনুপ্রস্থ তরঙ্গ কি? এ সম্বন্ধে দ্বিতীয় পরিচ্ছেদে পড়িয়াছ। অনুপ্রস্থ তরঙ্গের সরণ ঐ তরঙ্গের গতির দিকের অভিলম্ব। এইদিক ও গতির দিক অন্তর্ভুক্ত করে যে তল, তরঙ্গটি সেই তলেই সীমিত থাকে। এই তল হইতেছে তরঙ্গটির সঞ্চালন তল (plane of propagation)।

চিত্র নং 50 (a) একটি অনুভূমিক তলে সীমিত তরঙ্গ; (b) একটি খাড়া তলে সীমিত তরঙ্গ। উভয়ে একই দিকে চলিতেছে। এই ধরনের প্রত্যেক তরঙ্গ (অনুপ্রস্থ) একটি নির্দিষ্ট তলে সীমিত। এই সীমিত হওয়াকে বলে **সমবর্তন** (Polarization) চিত্র নং 50 (a)-এর তরঙ্গ অনুভূমিক তলে সমবর্তিত, (b)-এর তরঙ্গ



চিত্র নং 50

খাড়া তলে সমবর্তিত। কোন আলোক উৎসতে যে আন্দোলন হয় তাহা সব দিকেই হইতে পারে অর্থাৎ সব দিকেই হয়। সুতরাং সঞ্চালন দিককে অন্তর্ভুক্ত করিয়া যে অসংখ্য তল হয়, তাহার প্রত্যেক তলে সমবর্তিত আলোক ঐ উৎস হইতে নির্গত হইবে। এই আলোককে বলে অসমবর্তিত আলোক (unpolarized light)। সূর্যের আলোক, ইলেকট্রিক বাল্‌বের আলোক, বাতির আলোক, এই সবই অসমবর্তিত আলোক।

কিছু কিছু কেলাস আছে যাহারা নিজেদের মধ্য দিয়া আলোক সঞ্চালনের ক্ষেত্রে দিক্-নিরপেক্ষ নয়। উহাদের প্রত্যেকেরই একটি করিয়া প্রধান তল (Principal plane) আছে। সেই তলে সমবর্তিত আলোক স্বচ্ছন্দে উহার মধ্য দিয়া সঞ্চালিত হয়, অন্য তলে সমবর্তিত হইলে একটি ভগ্নাংশ (প্রধান তলে বিয়োজিত অংশ) সঞ্চালিত হয়, এবং অভিলম্ব তলে সমবর্তিত আলোক একেবারেই সঞ্চালিত হয় না। চিত্র নং 50 (i)-এ দুই ফলকের প্রধান তল সমান্তরাল। অসমবর্তিত আলোক প্রথম ফলকে পড়িলে কেবল প্রধান তলে সমবর্তিত অংশ উহা অতিক্রম করে। তখন ঐ আলোক সম্পূর্ণরূপে ঐ তলে সমবর্তিত হইয়াছে। ঐ আলোক অক্লেশে চিত্র নং 50 (i)-এর দ্বিতীয় ফলকও অতিক্রম করে। চিত্র নং 50(ii)-এ দ্বিতীয় ফলকের মধ্য দিয়া ঐ আলোকের এক অংশ সঞ্চালিত হইতে পারে। আর চিত্র নং 50(iii)-এ দ্বিতীয় ফলক সমস্ত আলোককে আটকাইয়া দেয়, কারণ দ্বিতীয় ফলকের প্রধান তল আপতিত আলোকের সমবর্তন তলের লম্ব।

উপরের পরীক্ষা হইতে প্রমাণ হয় যে, অলোক-তরঙ্গ অনুপ্রস্থ তরঙ্গ। শব্দের ক্ষেত্রে এই ধরনের কোন ঘটনা না ঘটায়' এবং সাধারণ যুক্তি অনুসারেও, শব্দ-তরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ। তাহার কোন সমবর্তন হয় না।

4·14. জ্যামিতিক আলোকবিদ্যা কি অসত্য ?ঃ আলোক সম্বন্ধে নবম শ্রেণীতে তোমরা পড়িয়াছ, আলোক একটি রশ্মি সমষ্টি। রশ্মিগুলি সরলরেখা ধরিয়া চলে। ছায়া ও উপচ্ছায়া সৃষ্টি হয়। কোন বাধা থাকিলে বাধার ধার দিয়া যে রশ্মি যায় তাহা সোজা চলে, বাধা পার হইবার পরও বাঁকা হয় না। দুইটি রশ্মি এক স্থানে একসঙ্গে পড়িলে স্থানটিকে সব সময়ই বেশী আলোকিত করে, কোন অবস্থায়ই কম আলোকিত করে না। ইহাই জ্যামিতিক আলোক বিদ্যা। ইহার উপর ভিত্তি করিয়া দর্পণ, লেন্স প্রভৃতির দ্বারা গঠিত বিম্ব (image) কিরূপ হইবে, কোথায় হইবে তাহা বলা যায়, প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত রশ্মি কিভাবে যাইবে তাহাও বলা যায়। কিন্তু এখন তোমরা দেখিলে যে, আলোক সরলরেখা অনুসারী নয়, আলোক-রশ্মি বলিয়া কিছু নাই, আলোকের ব্যতিচার ও ব্যবর্তন এবং সমবর্তন হয়। তাহা হইলে আগে যাহা পড়িয়াছ তাহার সবই কি ভুল ? ভুল যদি হয় তবে এতগুলি ঘটনা সফলভাবে কি করিয়া ব্যাখ্যা সম্ভব ?

এখন তরঙ্গ হিসাবে আলোকের যে ব্যবহার, শব্দ-তরঙ্গেরও একই ব্যবহার। শব্দও বাধা পার হইয়া বাঁকিয়া যায় এবং অনেক বেশী। একটি ঘরে যদি গান হয় এবং

আলো জ্বলে, তবে জানালার ঠিক বাহিরে না দাঁড়াইলে বাহির হইতে ঐ আলো বিশেষ দেখিতে পাইবে না। কিন্তু গান শুনিতে যেখানে খুশী, দেওয়ালের আড়ালেও, দাঁড়াইতে পার; গান পরিষ্কার শুনিতে পাইবে। দুই-ই তরঙ্গ। তাহা হইলে দুইয়ের আচরণের এত পরিমাণগত পার্থক্য কেন? তাহার কারণ, তরঙ্গের দৈর্ঘ্য। তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য যত বেশী হইবে ততই উহার ব্যতিচার ব্যবর্তন প্রভৃতি বেশী হইবে। আলোকের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য শব্দের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য অপেক্ষা বহু হাজার গুণ ছোট। তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য অত ছোট বলিয়াই ঋজুরেখগতি হইতে এত কম বিচ্যুতি। সুতরাং জ্যামিতিক আলোকবিদ্যা একেবারে ভুল নয়। ইহা সত্য, তবে স্থূলভাবে। এক্স-রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য আরও অনেক কম। ফলে সাধারণ উপায়ে ইহার ব্যতিচার ও বিবর্তন করা যায় না। অবশ্য উহা করা যায় অন্য উপায়ে এবং তাহা আমাদের বিচার্য বিষয়ের অন্তর্ভুক্ত নয়।

প্রশ্নাবলী

1. মুক্ত বায়ুতে শব্দের বেগ কি করিয়া বাহির করিবে তাহার বিবরণ দাও।

2. "শব্দ-তরঙ্গ স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ"—ইহার অর্থ কি? জলের তরঙ্গ কি স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ? যুক্তিসহ উত্তর লেখ।

3. শব্দ-তরঙ্গ ও আলোক-তরঙ্গ—ইহাদের মধ্যে সাদৃশ্য ও বৈসাদৃশ্য কি বিশদভাবে লেখ।

4. শব্দ-তরঙ্গের বেগ কি কি অবস্থার উপর নির্ভর করে? কুয়াশা পড়িলে শব্দের বেগ কি বদলায়? যুক্তিসহ উত্তর লেখ।

5. শব্দের বেগ সম্বন্ধে নিউটনের সমীকরণ লেখ। উহার কি ত্রুটি, এবং কিভাবে উহার সংশোধন হইয়াছে, তাহার আনুপূর্বিক বিবরণ দাও।

6. শব্দের বেগ বায়ুতে বেশী না জলে বেশী? যুক্তিসহ উত্তর লেখ।

7. অনুপ্রস্থ তরঙ্গ কি বায়ুতে সম্ভব? যদি না হয়, কেন নয়?

8. শব্দের তরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য। কিন্তু সেতারের তারে যে তরঙ্গ দেখা যায় তাহা অনুপ্রস্থ। তবুও সেতারের বাজনা কেন শোনা যায়?

9. 0°C উষ্ণতায় বায়ুতে শব্দের বেগ 332 মিটার / সেকেণ্ড। যদি একটি নলের দুইমুখ খোলা হয় তবে 50°C উষ্ণতায় 256 কম্পারে সুর শলাকার সহিত উহার অনুনাদ হইলে উহার দৈর্ঘ্য কত হইবে?

10. অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের কার্য ব্যাখ্যা কর, এবং উহার সাহায্যে কি করিয়া শব্দের বেগ বাহির করিবে তাহার বিবরণ দাও।

11. আলোকের ব্যতিচার কি করিয়া দেখাইবে তাহার বিবরণ দাও। কি কি শর্তে আলোকের ব্যতিচার সম্ভব?

12. আলোকের সমবর্তন কি? কিভাবে উহা দেখাইবে, বিস্তারিতভাবে তাহার বিবরণ দাও।

13. আলোকের সমবর্তন হইতে কি প্রমাণ হয়?

14. শব্দের ধ্বনিলিপি কি? কি কি ভাবে উহা তৈয়ারী করা যায় তাহার বিবরণ দাও।

15. শব্দের ধ্বনিলিপি হইতে শব্দের পুনর্জনন কি করিয়া করা হয় তাহার বিবরণ দাও।

16, সবাক্ চিত্র কি করিয়া সবাক হয়, তাহার ব্যাখ্যা সহ বুঝাইয়া দাও।

17. টেপ রেকর্ড কি? উহার কার্য ব্যাখ্যা সহ বুঝাইয়া দাও।